

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

LIBEREC 2013

Bc. Jitka Bokrosová

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Katedra oděvnictví

Studijní program: N3106 Textilní inženýrství

Studijní obor: Textilní a oděvní technologie

Zaměření: Oděvní technologie

FYZIOLOGICKÝ KOMFORT SPORTOVNÍCH TRIČEK, MOŽNOSTI TESTOVÁNÍ A HODNOCENÍ, APLIKACE ZABUDOVANÝCH SENZORŮ PRO MĚŘENÍ TEPLoty, VLHKOSTI, TEPU

PHYSIOLOGICAL COMFORT SPORT SHIRTS, OPTIONS FOR TESTING AND EVALUATION, APPLICATION OF BUILT-IN SENSORS TO MEASURE TEMPERATURE, HUMIDITY, PULSE

Autor diplomové práce: Bc. Jitka Bokrosová

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.

Rozsah práce

Počet stran textu: 63

Počet obrázků: 17

Počet tabulek: 11

Počet příloh: 12

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jitka Bokrosová**
Osobní číslo: **T10000056**
Studijní program: **N3106 Textilní inženýrství**
Studijní obor: **Textilní a oděvní technologie**
Název tématu: **Fyziologický komfort sportovních triček, možnosti testování
a hodnocení, aplikace zabudovaných senzorů pro měření tep-
loty, vlhkosti, tepu**
Zadávající katedra: **Katedra oděvnictví**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Provedte rešerši týkající se fyziologického komfortu a možnosti monitorování těchto vlastností.
2. Provedte teoretický rozbor přestupů tepla, vlhkosti u oděvů.
3. Navrhněte experiment měření teploty a vlhkosti na oděvech.
4. Zhodnoťte přesnost a spolehlivost měření a vypovídací schopnost pro hodnocení fyziologického komfortu oděvů.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: cca 50 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

- HAVELKA.A.-KŮS.Z.:Moisture transfer properties of smart -barrier textiles.The 20th Scientific Conference Hanoi University of Technology.Hanoi 2006
- HAVELKA.A.: -KŮS.Z: The physiological properties of smart textile and moisture transport through clothing fabrics. In : The 6th International Thermal Manekin and Modeling Meeting (613M). The Hong Kong Polytechnic University .Hong Kong 2006. IBSN: 962-367-534-8
- HAVELKA.A.:Transport properties of smart textiles.In.: The 13th international conference Strutex. Faculty of Textile Engineering Technical University of Liberec 2006. IBSN 80-7372-135-X
- Šínová, K.: Fyziologické vlastnosti moderních materiálů pro sportovní účely, [diplomová práce] TUL, Liberec, 2006
- Šesták, J.; Rieger, F.: Přenos hybnosti, tepla a hmoty, ČVUT, Praha, 2005

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.

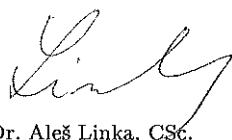
Katedra oděvnictví

Datum zadání diplomové práce:

1. listopadu 2011

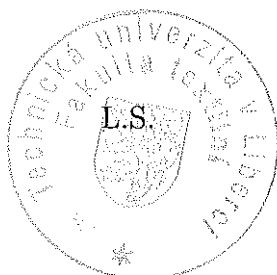
Termín odevzdání diplomové práce:

9. května 2012



prof. RNDr. Aleš Linka, CSc.

děkan



doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.

vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2011

Technická univerzita v Liberci
Doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.
Katedra oděvnictví, FT
Studentská 2
461 17 Liberec

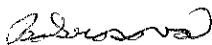
ŽÁDOST

Žádám o prodloužení termínu odevzdání diplomové (bakalářské) práce do května 2013

Název diplomové (bakalářské) práce: Fyziologický komfort sportovních triček, možnosti testování a hodnocení, aplikace zabudovaných senzorů pro měření teploty, vlhkosti, tepu

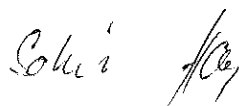
Jméno vedoucího diplomové (bakalářské) práce: Doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.

Jméno, příjmení a adresa žadatele: Jitka Bokrosová, Okřešice 17, Česká Lípa, 47002

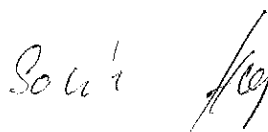
Podpis žadatele: 

Datum podání žádosti: 25. 04. 2012

Vyjádření vedoucího práce:



Vyjádření vedoucího katedry:

 26/IV/2012

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ
Katedra oděvnictví

PROHLÁŠENÍ

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval (a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci, dne

.....

Bc. Jitka Bokrosová

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych ráda poděkovala všem, kteří mi pomáhali při psaní této diplomové práce. Především bych ráda poděkovala svému vedoucímu diplomové práce, Doc. Ing. Antonínu Havelkovi, CSc. za cenné rady a připomínky, které mě nasměrovaly správným směrem. V neposlední řadě bych ráda poděkovala své rodině za trpělivost a podporu při studiu.

ANOTACE

Diplomová práce se zabývá oděvním komfortem a možnostmi jeho testování a s tím souvisejícím přestupem tepla a vlhkosti u oděvů. Praktická část je zaměřena na měření vybraných fyziologických vlastností (teplota a vlhkost) sportovních triček. Měření se uskutečnilo pomocí senzorů měřících teplotu a vlhkost a současně pomocí termovizní kamery při reální fyzické zátěži. Pro porovnání bylo měření doplněno subjektivním hodnocením triček probandy. Pro testování byla zvolena trika dvou materiálových složení 100 % bavlny a 100 % polyesteru. Během měření byla data zobrazována pomocí aplikace HUMITEM.

Klíčová slova: oděvní komfort, fyziologický komfort, přestup tepla, přestup vlhkosti, termovize, senzory pro měření vlhkosti a tepla, Humitem

ANNOTATION

This thesis deals with clothing comfort and the possibility of testing and the associated heat transfer and moisture in clothing. The practical part is focused on the measurement of selected physiological properties (temperature and humidity) of sports shirts. Measurements were performed using sensors that monitor temperature and humidity simultaneously using thermal imaging cameras in real physical activity. For comparison, measurements were supplemented by subjective evaluation of shirts by probands. The selected material for testing consists of two T-shirts. First with 100% of cotton and second with 100% of polyester. During the measured the data was displayed using HUMITEM application.

Key words: clothing comfort, physiological comfort, heat transfer, moisture transfer, thermal imaging, sensors for measuring humidity and heat, Humitem

OBSAH

ÚVOD.....	12
TEORETICKÁ ČÁST.....	13
1. Komfort	13
1.1. Oděvní komfort	13
1.1.1. Termofyziologický komfort.....	13
1.1.1.1. Termoregulace organismu	16
1.1.2. Senzorický komfort.....	17
1.1.3. Ergonomický komfort.....	17
1.1.4. Psychologický komfort	17
2. Přenos tepla mezi člověkem a okolím	18
2.1. Přestup tepla kondukcí (vedením).....	18
2.2. Přestup tepla konvekcí (prouděním)	19
2.3. Sdílení tepla radiací (zářením)	20
2.4. Sdílení tepla evaporací (odpařováním potu)	21
2.5. Sdílení tepla respirací (dýcháním)	22
3. Odvod kapalné vlhkosti z povrchu lidského těla.....	23
3.1. Difuzní odvod vlhkosti.....	23
3.2. Kapilární odvod vlhkosti.....	24
3.3. Sorpční odvod vlhkosti	24
4. Hodnocení fyziologického komfortu	25
4.1. Subjektivní hodnocení.....	25
4.1.1. Hodnocení prováděné v terénu na lidských subjektech.....	25
4.2. Objektiv metody.....	26
4.2.1. Hodnocení pomocí probanda v bioklimatické komoře.....	26
4.2.1.1. Senzory pro monitorování komfortu.....	27
4.2.2. Gravimetrická metoda dle ČSN 80 0855	27
4.2.3. SKIN MODEL	28
4.2.4. PERMETEST.....	29
4.2.5. Metoda DREO	31
4.2.6. Thermo – Labo.....	31
4.2.7. Alambeta.....	31
4.2.8. Textest FX 3300.....	33

4.2.9.	Potící se torzo.....	33
4.2.10.	Tepelný manekýn.....	34
5.	Termografie	35
5.1.	Infračervené záření.....	35
6.	Důležité zákony pro IR měření teploty.....	36
7.	Emisivita	38
7.1.	Stanovení emisivity materiálu.....	38
EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....		40
8.	Charakteristika testovaných sportovních triček	40
9.	Měření emisivity sportovních triček	41
10.	Měření teploty a vlhkosti pomocí senzorů	43
10.1.	Tepová frekvence a její měření	43
10.2.	Senzory SHT21	44
10.3.	Měřicí jednotka a aplikace HUMITEM	45
10.4.	Postup při testování pomocí senzorů.....	45
11.	Měření teploty pomocí termovizní kamery	46
12.	Vyhodnocení výsledku	47
12.1.	Vyhodnocení výsledku měření teploty a vlhkosti pomocí senzorů	47
12.1.1.	Vyhodnocení teploty.....	48
12.1.2.	Vyhodnocení vlhkosti	49
12.2.	Vyhodnocení výsledku měření teploty pomocí termovizní kamery	54
12.3.	Subjektivní hodnocení triček probandy	56
12.3.1.	Subjektivní hodnocení probanda č. 1 testujícího bílá trika.....	56
12.3.2.	Subjektivní hodnocení probanda č. 2 testujícího černá trika	57
12.3.3.	Subjektivní hodnocení probanda č. 3 testujícího červená trika	58
12.3.4.	Porovnání subjektivního hodnocení probandů	59
12.4.	Porovnání výsledků měření teploty naměřených pomocí termovizní kamery a senzorů.....	59
12.5.	Celkové porovnání výsledků subjektivního a objektivního měření	63
ZÁVĚR		65
Použitá literatura		67
Seznam použitých zkratk		71
Seznam obrázků		74
Seznam tabulek		75

Seznam příloh.....	76
Přílohy.....	77

ÚVOD

Díky dnešní uspěchané době je o komfort jako takový veliký zájem. Oděvní komfort už není dominanta jen u speciálních a sportovních oděvů. V posledních letech se oděvní komfort stává jedním z hlavních kritérií i u oděvu pro běžné nošení. Vyšší nároky na komfort mají kromě sportovců malé děti, nemocní lidé, lidé ve vysokém věku a osoby vykonávající povolání v nebezpečných nebo extrémních pracovních podmínkách. Každý člověk má ale jiné nároky na oděvní komfort. Vzhledem k tomu, že komfort je především subjektivní záležitost, je hodnocení komfortu přinejmenším problematické.

Teoretická část diplomové práce se proto zabývá vysvětlením a dělením oděvního komfortu a možností jeho testování. Současně také rozebírá s tím související přestupy tepla a vlhkosti oděvem. Vzhledem k použití termovizní kamery v experimentální části obsahuje teoretická část stručný úvod do problematiky termovize a s ním související emisivitu.

Cílem experimentální části diplomové práce je otestovat fyziologický komfort u sportovních triků na triku ze 100% bavlny a 100% polyesteru. Testování bylo realizováno pomocí senzorů měřících teplotu a vlhkost a pomocí termovizní kamery. Objektivní měření bylo doplněno o subjektivní měření pomocí dotazníku.

Trika byla testována za reálné fyzické zátěže (jízda na rotopedu) po dobu 45 minut. Testování probíhalo v klimatizované místnosti na Katedře oděvnictví Technické univerzity v Liberci. Testovalo se pomocí tří probandů. Každý testoval jedno triko z bavlny a polyesteru. Probandi po celou dobu konání měření udržovali tepovou frekvenci v rozmezí 70 – 75% ze svého maxima.

TEORETICKÁ ČÁST

1. Komfort

Komfort neboli pohodlí patří mezi základní lidské potřeby. Nicméně je velice složité ho určit, jelikož se jedná o subjektivní pocit. V současné uspěchané době se zájem o komfort stupňuje. Díky zájmu spotřebitelů, kteří vyžadují větší a větší pohodlí, jsou komfortem nuceni se zabývat výrobci i distributoři. Tato diplomová práce se konkrétně bude zabývat fyziologickým komfortem.

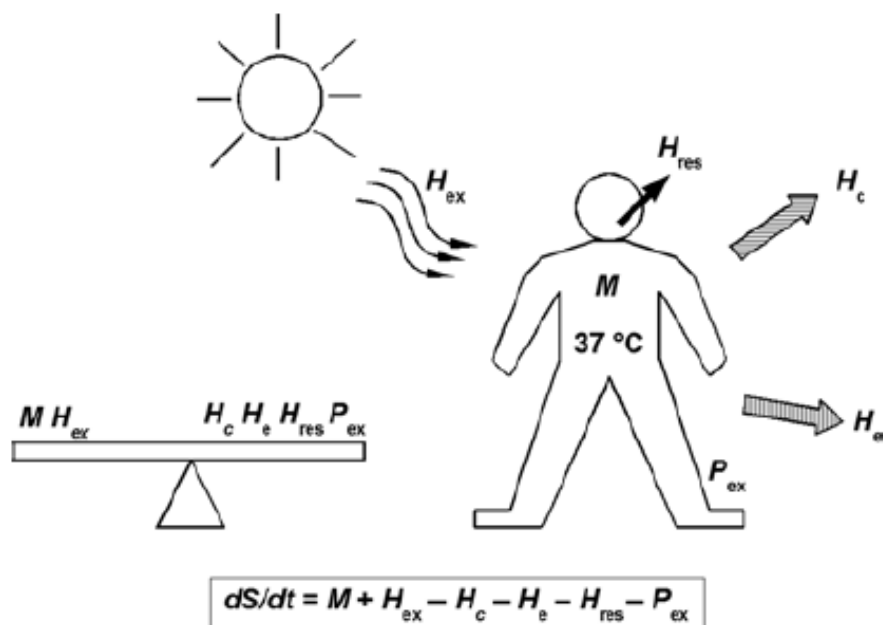
1.1. Oděvní komfort

Na komfort existuje mnoho definic a mnoho rozdělení. Každý člověk vnímá komfort jinak a má na něj jiné nároky. Zjednodušeně můžeme říci, že komfort je vnímám jako soulad fyziologických reakcí člověka, oděvu a prostředí. Rozdělení komfortu:

- Termofyziologický
- Senzorický
- Ergonomický
- Psychologický

1.1.1. Termofyziologický komfort

Termofyziologický komfort se zabývá interakcí mezi termoregulací těla a jeho oblečením. Proto základem termofyziologického komfortu je dobrá tepelná rovnováha a s tím související regulace tepla (Obr. č. 1). Při termoregulaci musí být vzata do úvahy rozdílná rychlost metabolismu při různých činnostech. Jiná rychlost bude při běžné chůzi a jiná bude při běhu. Důležitý faktor hraje transport tepla a vlhkosti a vzduch [12].



(1)

Obr. 1 Názorné zobrazení tepelné rovnováhy [12]:

- M rychlost metabolismu
 H_{ex} vnější tepelný zisk
 H_c suchý tok tepla
 H_e odpařený tepelný tok
 H_{res} tepelné ztráty dýcháním
 P_{ex} ztráty tepla výkonem těla
 dS/dt akumulční změna tepla

$$Q_{to} + Q_{tz} = Q_s + Q_{pr} + Q_v + Q_o + Q_d + Q_{ov} \pm \Delta Q \quad (2)$$

kde:

- Q_{to} tvorba tepla v organismu [$J.s^{-1}$],
 Q_{tz} vnější tepelné záření [$J.s^{-1}$],
 Q_s tepelné ztráty sáláním [$J.s^{-1}$],
 Q_{pr} tepelné ztráty prouděním [$J.s^{-1}$],
 Q_v tepelné ztráty vedením [$J.s^{-1}$],
 Q_o tepelné ztráty v důsledku odpařování difúzní vlhkosti z povrchu pokožky [$J.s^{-1}$],
 Q_d tepelné ztráty z důvodu odpařování vlhkosti z horních cest dýchacích [$J.s^{-1}$],

- Q_p tepelné ztráty odpařováním potu [$J.s^{-1}$],
 Q_{ov} tepelné ztráty na ohřev vydechovaného vzduchu [$J.s^{-1}$],
 ΔQ změna tepelného stavu organismu proti stavu tepelné pohody – deficit tepla [$J.s^{-1}$], [8]

Fyziologický komfort je ovlivněn [5,6]:

- vlhkostí vzduchu pod oblečením
- vlhkostí kůže
- teplotou vzduchu pod oblečením
- teplotou kůže
- obsahem oxidu uhelného pod oblečením.

Optimální podmínky termofyziologického komfortu [1]:

- teplota pokožky 33 – 35 °C
- relativní vlhkost vzduchu 50±10%
- rychlost proudění vzduchu 25±10 cm/s
- obsah CO₂ 0,07%
- nepřítomnost vody na pokožce

Nejdůležitějšími vlastnostmi oděvních materiálů z fyziologického hlediska jsou:

- propustnost vodní páry
- transport vodní páry
- propustnost vzduchu
- nepropustnost vody

Transport vody je kombinovaná funkce odpařování, kapilárního odvodu potu, migrace vody a šíření vlhkosti. Tyto vlastnosti pracují společně.

Popis fyziologického komfortu vychází z předpokladu lidského těla jako tepelného stroje pracujícího na principu konstantní teploty. Konstantní teplota lidského těla je zajišťována termoregulačním systémem, který je více popsán v následující kapitole. [4]

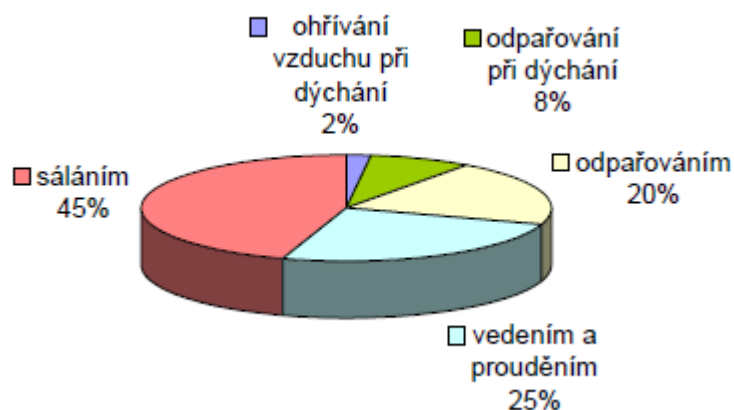
Fyziologický komfort zaujímá jednu z nejdůležitějších oblastí výzkumu u oděvních textilií a to nejen v oděvní oblasti, ale také z pohledu medicíny. Z hlediska fyziologie a jejího využití např. (Gavhed, D.; Havenith, D.), kdy oděv napomáhá termoregulačním procesům lidského organismu v daném prostředí. Fyziologický komfort se tedy především zabývá otázkami ochrany proti chladu a tepla a zároveň umožňuje optimální transport vlhkosti a tepla skrz jednotlivé vrstvy oděvu, tím zajišťuje energetickou činnost člověka.

1.1.1.1. Termoregulace organismu

Termoregulace je schopnost organismu udržovat stálou tělesnou teplotu, přestože produkce tepla, a to jak příjmy, tak i ztráty, neustále kolísají. Organismus člověka představuje samoregulační systém, jehož cílem je vytvořit rovnováhu mezi množstvím tepla vytvořeného organismem a množstvím tepla odevzdaného okolnímu prostředí.

Termoregulace je proces, který slučuje fyziologické pochody řízené centrálním nervovým systémem, udržujícím tělesnou teplotu na optimální hodnotě, při které probíhají metabolické proměny. Termoregulaci máme dvojího druhu. [4]:

- **Chemická** - látková přeměna (chemické reakce a tedy tvorba tepla). Je závislá na fyzické zátěži organismu a jeho chování.
- **Fyzikální** – zajišťuje odvozy tepla z organismu (přestupy tepla). Důležitým faktorem je prokrvení povrchu těla, protože prokrvení kůže a podkoží umožňuje odvod tepla z prostředí. Přestupům tepla z organismu bude věnována druhá kapitola této práce.



Obr. 2 Procentuální znázornění tepelných ztrát organismu [8]

1.1.2. Senzorický komfort

Senzorický komfort zahrnuje vjemy a pocity člověka vyvolané při přímém styku pokožky a první vrstvy oděvu. Pocity mohou být příjemné (měkkosti, splývavosti) nebo nepříjemné (pocit tlaku, pocit vlhkosti, škrábání, kousání, píchání, lepení, svědění apod.) [1].

1.1.3. Ergonomický komfort

Ergonomický komfort je brán na zřetel hlavně u oděvů pro volný čas. U oblečení pro každý den je tento komfort ovlivněn cenou a módou. Pro sportovní oděvy se ergonomický komfort musí skloubit se specifickými potřebami pro konkrétní sport. Například volný střih není vhodný pro cyklistický oděv, vzhledem vyžadované aerodynamice [12].

1.1.4. Psychologický komfort

Příkladem psychologického komfortu by mohlo být např. nošení bund od známé značky nebo fotbalového trička s názvem určitého hráče. V některých případech osoby kladou větší důraz na psychologický komfort než na funkčnost. Nošení sportovního oblečení může být také vnímáno jako udávající sportovní image [12].

2. Přenos tepla mezi člověkem a okolím

Zbytková energie, kterou tělo nespotřebuje, se přemění na energii tepelnou, která se odvádí z organismu. Výdej tepla do prostředí je uskutečňován především pomocí povrchu těla těmito způsoby:

- kondukcí (vedením)
- konvekcí (prouděním)
- radiací (zářením)
- evaporací (odpařováním potu)
- respirací (dýcháním)

Přenos tepla je proces, při kterém dochází k předávání tepla s vyšší teplotou do míst s nižší teplotou.

2.1. Přestup tepla kondukcí (vedením)

Transport tepelné energie je vyvolán pohybem elementárních částic, které při zvýšení teploty začínají kmitat. Molekuly s vyšší teplotou odevzdávají při srážkách přebytek své kinetické energie molekulám, které mají nižší teplotu. Vedením ztrácíme až 5% tepla, je-li kůže v kontaktu s chladnějším prostředím. Především jde o přenos tepla chodidly, zadní částí těla při spánku či sezení. Vedení tepla je ale také hlavní mechanismus přenosu tepla v tenkých vrstvách v oděvních systémech. [8,1]

Přenos tepla vedením probíhá mezi spodním prádlem nebo oděvem, který má přímý kontakt s povrchem lidského těla. [8]

Teplo se přenáší podle Fourierova zákona[8]:

$$Q_{\text{ved}} = \lambda * \frac{T_1 - T_2}{\delta} * S * \tau \quad (3)$$

kde:

Q_{ved} množství tepla [J], které projde stěnou o ploše S [m^2] za dobu τ [s],
[$\text{Js}^{-1} = \text{W}$]

λ součinitel tepelné vodivosti soustavy vrstev oděvu [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]

T_1 teplota vnitřní strany první oděvní vrstvy [K]

- T_2 teplota vnější (studené) strany poslední vrstvy oděvu [K]
 δ tloušťka soustavy vrstev oděvu [m] [8]

„Z uvedených rovnic vyplývá, že sdílení tepla vedením je tím větší, čím je nižší teplota předmětu, s nímž je osoba v oděvu v kontaktu a čím je větší styčná plocha a menší tloušťka kompletu vrstev oděvu“. [8]

Každý materiál má jinou tepelnou vodivost. Nejvyšší vodivost mají kovy od cca 300 [W/m.K], měď a stříbro 15 [W/m.K], stavební materiály a keramika od 0,3 do 2 [W/m.K], tepelná vodivost polymerů se pohybuje od 0,2 až 0,4 [W/m.K]. Klidný vzduch při teplotě 20°C má tepelnou vodivost 0,026 [W/m.K], zatímco tepelná vodivost vody je 0,6 [W/m.K], to je asi o 25x vyšší. Proto je přítomnost vody v textilních materiálech nežádoucí. [1]

Důležitým vztahem při hodnocení tepelného komfortu je vztah pro tepelný odpor R deskových materiálů (např. plošné textilie, tenké vzduchové vrstvy a jiné plošné materiály o tloušťce h). [1]

$$R = \frac{h}{\lambda} \quad (4)$$

Kde:

- R tepelný odpor [m^2K/W]
 h tloušťka materiálu [m]
 λ tepelná vodivost [W/m . K]

Tepelný odpor vzduchové vrstvy v oděvu dosahuje svého maxima pro $h = 5$ mm. Celkový tepelný odpor oděvu R_{CL} je odvislý na počtu jednotlivých vrstev. [1]

$$R_{CL} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \quad (5)$$

2.2. Přestup tepla konvekcí (prouděním)

Proudění je nejvýznamnější přenos tepla mezi člověkem a okolím. Teplo je transportované částicemi tekutin pohybujícími se rychlostí [m/s]. Mezi daným objektem a prostředím se vytváří tepelná mezivrstva o tloušťce δ , ve které se uskutečňuje teplotní spád. Z hlediska fyzikální podstaty rozeznáváme konvekci

přirozenou a nucenou. Přirozená konvekce je vyvolána vztakovými silami. Nucená konvekce vzniká zpravidla působením vnějších vlivů. Tloušťka mezní vrstvy je vyšší při laminárním proudění a klesá u proudění turbulentního. Turbulentní proudění je v případě, kdy tzv. Reynoldsovo číslo Re převyšuje 2300. Reynoldsovo číslo je definováno vztahem.[1, 8]

$$Re = \frac{vd}{\nu} \quad (6)$$

kde:

Re Reynoldsovo číslo[-]
 d charakteristický rozměr objektu [m]
 ν dynamická viskozita tekutiny [m^2/s]

Sdílení tepla prouděním lze určit na základě Newtonova zákona ochlazování podle rovnice:

$$\dot{Q}_{pr} = \alpha_{pr} * S * (T_o - T_v) \quad (7)$$

kde:

\dot{Q}_{pr} množství tepelného toku sdíleného prouděním [W]
 α_{pr} součinitel konvekce [$W.m^{-2}.K^{-1}$]
 S povrch těla [m^2]
 T_o teplota povrchu těla – oděvu [K]
 T_v teplota vzduchu [K]

2.3.Sdílení tepla radiací (zářením)

Přenos tepla zářením je způsoben elektromagnetickým vlněním, které se šíří v prostoru rychlostí světla. Jeho existence není podmíněná přítomností teplotnosného média. [10].

Teplu je předáváno z pokožky do okolí a naopak je pokožkou přijímáno prostřednictvím infračerveného záření, které vydávají všechna tělesa. Výdej tepla tímto způsobem je závislý na teplotě a vlhkosti okolí a odhalení lidského těla. Q_s nastává,

pokud je teplota organismu vyšší, než je teplota okolí, jinak dochází k přijímání tepla [9].

$$\dot{Q}_s = \alpha_s * S_s * (T_o - T_t) \quad (8)$$

kde:

α_s	součinitel sdílení tepla sáláním – radiací tepla [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]
S_s	povrch těla, z něhož teplo sálá [m^2]
T_o	teplota povrchu těla – oděvu [K]
T_t	teplota povrchu okolních těles [K]
\dot{Q}_s	množství tepelného toku sdíleného sáláním [W]

2.4. Sdílení tepla evaporací (odpařováním potu)

Tepelné ztráty odpařování v podmínkách přehřátí organismu. Odparné teplo je množství tepla, které odchází z povrchu kůže neznatelným pocením a je závislé především na měrném výparném skupenském teple a rozdílu parciálních tlaků vodních par (rovnice č. 8). [8, 9]

$$\Delta p = p_k - p_o \quad (9)$$

kde:

p_k	parciální tlak vodních par kůže [Pa]
p_o	parciální tlak vodních par okolí [Pa]

Tepelné ztráty odpařováním difúzní vlhkosti z povrchu pokožky \dot{Q}_{od} [W] lze stanovit podle následující rovnice:

$$\dot{Q}_{od} = 3,06 * 10^{-3} S (256t_{kuže} - 3360 - p_a) \quad (10)$$

kde:

\dot{Q}_{od}	množství tepelného toku sdíleného odpařováním [W]
p_a	parciální tlak par v okolním vzduchu [Pa]
$t_{kuže}$	teplota kůže [$^{\circ}\text{C}$]
S	plocha [m^2]

2.5.Sdílení tepla respirací (dýcháním)

Respirační odvod tepla je realizován pomocí dýchacích cest a jeho množství závisí na rozdílu množství vodních par vdechovaných a vydechovaných.

3. Odvod kapalné vlhkosti z povrchu lidského těla

Tepelná regulace lidského organismu je velice složitý proces, jak jsme již zmínili v kapitole o termoregulaci. Lidský organismus odvádí teplo z pokožky samovolným pocením. Odpařením jednoho litru potu se z těla odebere cca 2,4 MJ tepla. U volného povrchu kůže je jedinou podmínkou odparu dostatečný rozdíl parciálních tlaků

U oblečeného člověka je situace poněkud složitější, protože transport vlhkosti pracuje podle jiných principů. Vlhkost z povrchu kůže je odváděna několika způsoby:

- Difuzí
- Kapilárně
- Sorpčně

3.1. Difuzní odvod vlhkosti

Difuzní postup vlhkosti z povrchu kůže přes textilií je uskutečněn prostřednictvím pórů, jež se svou velikostí křivolakostí zúčastňují na kapilárním odvodu. Vlhkost proniká ve směru nižšího parciálního tlaku vodní páry. Difuzní odpor dílčích oděvních vrstev se sčítá, přičemž značnou roli hraje i odpor vzduchových mezivrstev. [1, 8, 9]

Množství páry m^* [kg/m²s] přenášené difuzí je úměrné difúznímu koeficientu D_P [kg/m.s.Pa] a gradientu parciálního tlaku $\Delta p_{\text{parc}} / \Delta x$ podle Fickova zákona [1]:

$$m^* = - D_P \cdot \Delta p_{\text{parc}} / \Delta x = - D_P \cdot (p_{\text{WSAT}} - p_{\text{WE}}) / h \quad (11)$$

kde:

m^*	množství páry [kg/m ² s]
D_P	difúzní koeficient [kg/m.s.Pa]
$\Delta p_{\text{parc}} / \Delta x$	gradientu parciálního tlaku
p_{WSAT}	nasycený parciální tlak [Pa]
p_{WE}	parciální tlak v okolním prostředí [Pa]
h	tloušťce [m]

Díky větší porositě mají otevřené materiály, jako např. pleteniny, přirozeně vyšší propustnost vodní páry nebo nižší odpor proti přenosu vodní páry než tkaniny. [1]

3.2. Kapilární odvod vlhkosti

Kapilární odvod potu spočívá v tom, že kapalný pot na kůži v kontaktu s první textilní vrstvou vzlíná kapilárními cestami do její plochy všemi směry nebo je přenášen do dalších vrstev. Tomuto jevu se říká knotový efekt. Kapilární odvod je dále závislý na smáčecí schopnosti textilie a vláken, na povrchovém napětí vláken a potu. Kůže ze strany textilie je smáčena odsávaným potem a intenzita prostupu je dána parciálním spádem tlaků Δp . Kapilární tlak ΔP , který způsobuje tok kapalně vlhkosti od velkých pórů o efektivním poloměru R k malým pórům o poloměru r , je úměrný povrchovému napětí vody γ a funkci \cos kontaktního úhlu Θ (charakterizující smáčecí schopnosti této textilie) podle rovnice [1, 8, 9]:

$$\Delta P = 2\gamma [(p_r \cdot \cos \Theta r / r) - p_R \cdot \cos \Theta R / R] \quad (12)$$

kde:

ΔP	kapilární tlak [Pa]
R	efektivní poloměr velkých pórů [μm]
r	efektivní poloměr malých pórů [μm]
γ	povrchové napětí vody [10^{-3} N/m]
Θ	kontaktní úhel [$^\circ$]
P	zvětšení vnitřního povrchu kapilárních kanálů

3.3. Sorpční odvod vlhkosti

Sorpční proces předpokládá nejprve vnik vlhkosti či kapalného potu do neuspořádaných mezimolekulárních oblastí ve struktuře vlákna a následné navázání na hydrofilní skupiny v molekulové struktuře. Tento proces je nejpomalejší a je podmíněn použitím textilie alespoň částečně obsahující sorpční vlákna.

Všechny tři výše uvedené mechanismy se transportu vlhkosti zúčastňují současně. Nejrychlejší mechanismus transportu je kapilární a difúzní, na posledním místě pak způsob sorpční.

4. Hodnocení fyziologického komfortu

Hodnocení fyziologického komfortu je přinejmenším dosti složité. Důležitým krokem je hodnotit a případně zlepšovat vlastnosti komfortu. Existuje pouze málo zveřejněných testování a výsledků hodnocení komfortu pro nošení oděvu, pro každodenní nošení oblečení a oděvu pro volný čas. Evropské normy zahrnují fyziologické požadavky pro ochranné oděvy, ale normy pro testování sportovního, denního oděvu a oděvu pro volný čas neexistují [12].

Hodnocení fyziologického komfortu lze rozdělit[1,12]:

- Subjektivní
 - Hodnocení prováděné v terénu pomocí probandů.
- Objektivní
 - Hodnocení pomocí probandů v klimatické komoře.
 - Laboratorní zkušební metody pomocí přístrojů.

4.1.Subjektivní hodnocení

U subjektivního hodnocení fyziologického komfortu se zjišťují subjektivní pocity probanda. Proband hodnotí sám podle svých pocitů při určité činnosti a různých typech oblečení v daném prostředí.

Hodnotí pocit tepla, chladu, pocit vlhkosti na různých místech těla i vhodnost střihového řešení.

4.1.1. Hodnocení prováděné v terénu na lidských subjektech

Skupině jsou přiděleny vzorky oblečení, aby je nosili během své normální činnosti. Následně jsou požádáni o hodnocení svých zkušeností. Velkou výhodou terénních pokusů je testování vzorků za reálných podmínek [12].

4.2. Objektiv metody

Objektivní hodnocení může být prováděno pomocí probanda a měřících přístrojů nebo pomocí přístrojů bez účasti probanda.

Při měření pomocí probanda se měření koná v bioklimatické komoře pomocí senzorů umístěných na těle probanda. Pomocí senzorů může být zajištěno velké množství fyziologických údajů, jako je srdeční frekvence, teplota kůže, vlhkost v mikroklimatu mezi kůží a textilem. Nevýhodou je pracné a časově náročné měření. [12]

Laboratorní testy mají výhodu rychlosti a nižších nákladů než pokusy s lidským subjektem. U měření bez probanda lze hodnotit buď pomocí přístrojů charakterizující fyzikální děj, ale bez přímého vztahu k podmínkám platícím v systému pokožka – oděv – prostředí nebo lze měřit pomocí podmínek blízkých fyziologickému režimu lidského těla. [1, 12]

4.2.1. Hodnocení pomocí probanda v bioklimatické komoře

Bioklimatická komora má velikost cca 15m². V komoře je možno volit parametry prostředí jako je teplota, vlhkost a rychlost proudění vzduchu. Proband je postupně zatěžován různou činností.

Střídají se fáze klidu a fáze zátěže:

0 – 10 min. *přípravná fáze:* svalstvo se připravuje k činnosti

10 – 30 min. *fáze činnosti:* plný výkon organismu, stoupá tepová frekvence, probíhá intenzivní výměna tepla mezi organismem a prostředím

30– 40 min. *fáze klidová:* tepová frekvence se zpomaluje a organismus se zklidňuje

Na určená místa na těle jsou připojeny snímače teplot a vlhkosti, které snímají množství vlhkosti produkované organismem a aktuální teplotu pokožky. Místa snímání: hrudník, záda, předloktí, stehno, lýtko, čelo a místa s největší hustotou pórů [9].

Podobný princip metody testování využili Shinjung Yoo a Eunae Kim v roce 2012 [18] při zkoumání účinků vrstev na propustnost vodních par a kondenzaci při chladném počasí. Vývoj nových bezdrátových RF senzory v roce 2000 testovali

Ferri, Corbellini, Parvis a Splendone.[37] Testovali jejich funkčnost a možnosti využití při testování sportovních oděvů.

4.2.1.1. Senzory pro monitorování komfortu

Senzory pro monitorování komfortu by měly splňovat následující požadavky:

- co nejmenší velikost
- pokud možno bezdrátové řešení
- data v reálném čase
- dostatečnou energii baterií

4.2.2. Gravimetrická metoda dle ČSN 80 0855

Jedná se o destruktivní metodu měření relativní paropropustnosti vodních par dle normy ČSN 80 0855. Měření se provádí při teplotě $20\pm 2^{\circ}\text{C}$, relativní vlhkosti $60\pm 20\%$ a maximální rychlosti proudění vzduchu 0,2 m/s. [1]

Postup měření:

Pomocí kruhové raznice o průměru 71,4 mm se vysekne textilní vzorek na měření. Připravený vzorek textilie se upevní na hliníkovou eloxovanou zkušební misku o ploše 30 cm^2 , která obsahuje vodu. Měření se provádí v klimatizační skříni, která zajišťuje klimatické podmínky pomocí analytických vah. Vážení se provádí před expozicí (G_0) a po uplynutí šestihodinové expozice (G_1). Pomocí vztahu (13) vypočteme relativní paropropustnost. [1]

$$P_{\text{rel}} = \frac{G_1 - G_0}{G_0} [\%] \quad (13)$$

Kde:

- P_{rel} relativní propustnost pro vodní páry[%]
 G_0 vážení misky se vzorkem před expozicí [g]
 G_1 vážení misky se vzorkem po šestihodinové expozici [g]

Nevýhodou metody je nepřesnost a zdlouhavost měření.

4.2.3. SKIN MODEL

SKIN MODEL patří také k destruktivním metodám měření. SKIN MODEL neboli „model kůže“ simuluje potíci se lidskou pokožku, pracuje na principu vyhřívání a zavlhčené porézní desky. Pomocí SKIN MODELU se zjišťuje tepelný odpor a odolnost vůči vodním parám. Měření se provádí za stacionárních nebo nestacionárních podmínek. [17, 1]

Stacionární podmínky

Zkušební vzorek je upevněn na elektricky vyhřívanou desku o teplotě 35°C, deska se vzorkem je obtékána vzduchem rychlostí 1 m/s. Po ustálení podmínek (trvá i několik hodin), můžeme provést měření.

Spodní strana desky je pokryta celofánovou membránou propouštějící vodní páry, nikoliv však vodu. Přiváděná voda k vyhřívané desce se odpařuje a formou páry prochází membránou ke vzorku. V závislosti na propustnosti textilního vzorku pára uniká ven nebo zůstává uvnitř. Při unikání páry má teplota desky tendenci klesat. Tím se následně zvýší příkon, aby udržel požadovanou teplotu 35°C. Hlavním ukazatelem měření je tedy příkon.

Nevýhodou měření za stacionárních podmínek je dlouhá doba měření, někdy i více než jednu hodinu. Během této doby může dojít ke kondenzaci vlhkosti na vlastním vzorku.

Nestacionární podmínky

Na vyhřívanou porézní kovovou desku o teplotě 35°C je umístěna hydrofilní tkanina navlhčená pomocí 4cm³ vody. Voda se následně působením tepla odpařuje. Ve vzduchovém prostoru mezi porézní deskou a upevněným vzorkem v rámu (vzdálenost 10 mm) jsou umístěna čidla registrující průběh teploty a vlhkosti. Pro lepší simulaci pohybu těla nositele může být pohybováno měřeným vzorkem pomocí elektricky poháněných nití. Teplota proudícího vzduch nad vzorkem je 25°C. [1]

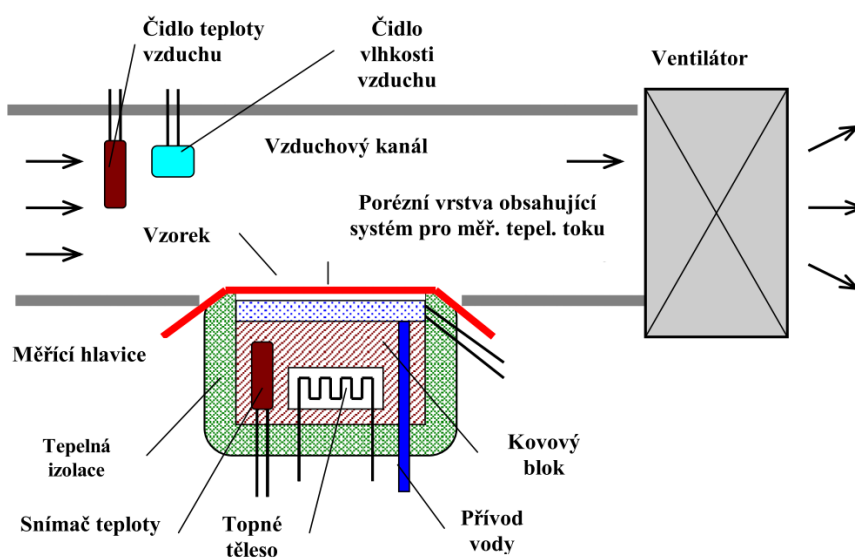
4.2.4. PERMETEST

Přístroj PERMETEST (Obr. 3) je v podstatě zmenšenina SKIN MODELU. Na rozdíl od SKIN MODELU je nedestruktivní a má podstatně kratší dobu měření. V roce 1990 byl PERMETEST patentován profesorem Lubošem Hesem z Textilní fakulty Technické univerzity v Liberci. [11]

Pomocí přístroje PERMETEST měříme tepelný tok q , výparný odpor R_{et} a relativní paropropustnost $p[\%]$.

Funkce ochlazování pocením je zajištěna porézní zvlhčovanou deskou. Na tento povrch je umístěna separační fólie, na kterou se přikládá měřený vzorek. Vnější strana vzorku je ofukována vzduchem o rychlosti 1 m/s.

Při měření výparného odporu a paropropustnosti je měřicí hlavice udržována na teplotě okolního vzduchu, který je přístrojem nasáván (obvykle o teplotě 20 – 23 °C). Vlhkost se při měření v porézní vrstvě mění v páru a prochází přes separační fólii měřicím vzorkem. Výparný tepelný tok je měřen speciálním snímačem. Jeho hodnota je přímo úměrná paropropustnosti textilie nebo nepřímo úměrná jejímu výparnému odporu. V obou případech se měří nejdříve bez vzorku, následně znovu se vzorkem. Tímto způsobem se naměří odpovídající tepelné toky q_o a q_v .



Obr. 3 Schéma přístroje PERMETEST [1]

Při měření tepelného odporu textilního vzorku je suchá měřicí hlavice udržována na teplotě o 10 – 20°C vyšší než je teplota okolního vzduchu.

Mezi výhody měření patří již zmíněná krátká doba měření, nedestruktivnost měření a v neposlední řadě se měření může provádět za jakýkoliv klimatických podmínek. [1, 38]

$$p = 100 \left(\frac{qv}{qo} \right) [\%] \quad (14)$$

$$R_{et} = (P_m - P_a)(qv^{-1} - qo^{-1}) \quad (15)$$

Stanovení tepelného odporu probíhá pomocí měření bez vlhčení stejným způsobem. Tepelný odpor R_{ct} charakterizuje odpor proti prostupu tepla vzorkem při definované teplotě t_m jeho jedné strany a při přenosu tepla konvekcí z jeho vnější (druhé) strany do vzduchu o teplotě t_a , přičemž tepelný odpor vnější mezní strany se odečítá.

$$R_{ct} = (t_m - t_a)(qv^{-1} - qo^{-1}) \quad (16)$$

Kde:

q_o	plošná hustota tepelného toku procházející měřicí hlavicí nezakrytou měřeným vzorkem [W/m ²]
q_v	plošná hustota tepelného toku procházející měřicí hlavicí zakrytou měřeným vzorkem [W/m ²]
R_{ct}	tepelný odpor vzorku [m ² .K/W]
R_{et}	výparný odpor vzorku [m ² .Pa/W]
φ	relativní vlhkost vzduchu [%]
t_m	teplota povrchu měřicí hlavice [°C]
t_a	teplota vzduchu proudícího kanálem podél měřicí hlavice [°C]
P_m	nasycený parciální tlak vodní páry na povrchu měřicí hlavice [Pa]
P_a	parciální tlak vodní páry ve vzduchu ve zkušebním prostoru při teplotě vzduchu ve zkušebním prostoru [Pa]

4.2.5. Metoda DREO

Vzorek je upevněn mezi dvě polopropustné vrstvy na perforované desce. Pod spodní vrstvou se nachází voda, nad vrchní vrstvou proudí suchý vzduch, obě vrstvy zabraňují přímému kontaktu s měřeným vzorkem. Doba měření je 15 minut. Ztráta vody je určována nikoliv vážením, ale je odečítána na stupnici skleněné kapiláry. [1]

4.2.6. Thermo – Labo

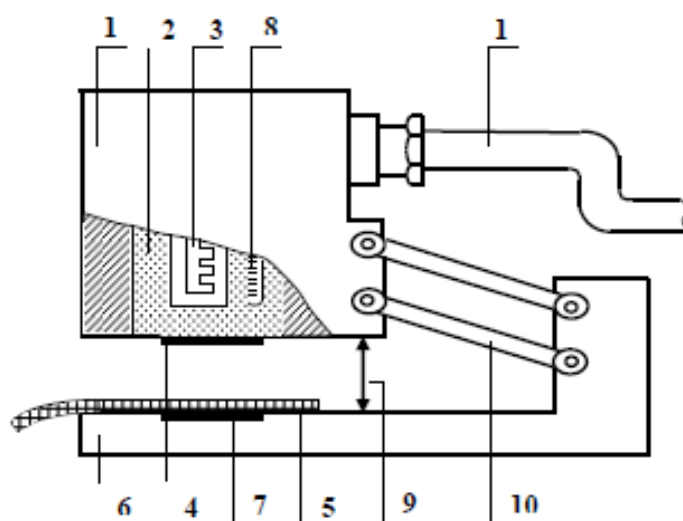
Přístroj vyvinuli v roce 1983 Kewabata a Yoneda. Thermo-Labo, jako objektivně stanovenou veličinu zvolili, maximální hodnotu kontaktního tepelného toku q_{\max} vypočtenou z přechodové křivky teploty.

Podstatou měření je přikládání přehřátého měděného bloku na textilií. Textilní vzorek je umístěn na nádobě, která je pomocí cirkulující vody udržována na konstantní teplotě. Čidlo teploty je umístěno na zadní straně a je tepelně izolováno polyesterovou pěnou. Tepelný zdroj je prostřednictvím BT BOXu přehřát na určitou teplotu, která je vyšší, než je okolní teplota.

Nevýhodou tohoto měření je složité matematické zpracování výsledků, časová náročnost při měření a těžkopádnost postupu znemožňující automatizaci přístroje. [1]

4.2.7. Alambeta

Tento přístroj (Obr. 4) měří tepelně izolační vlastnosti (tepelný odpor, tepelná vodivost) i dynamické vlastnosti (tepelná jímavost, tepelný tok). Přístroj zároveň s měřením vyhodnocuje statistické hodnoty naměřených údajů. Součástí je samokontrolující program, který zabraňuje chybám, které mohou nastat při měření. Doba měření i se statistickým vyhodnocením trvá 3-5 minut. Měření je prováděno pomocí kontaktní měřicí plochy, jejíž teplota je 35 °C což odpovídá teplotě lidské pokožky. Výhodou je doba měření a nedestruktivnost vzorku. [1]



1. tepelně izolační kryt, 2. kovový blok, 3. topné těleso, 4. snímač tepelného toku, 5. vzorek textilie, 6. základna přístroje, 7. snímač tepelného toku, 8. teploměr, 9. paralelní vedení

Obr. 4 Schéma přístroje Alambeta [1]

Měřené parametry a jejich definice:

Tloušťka materiálu h [mm]

Měrná tepelná vodivost λ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}$] – množství tepla, které proteče jednotkou délky za jednotku času a vytvoří rozdíl teplot 1K. Hodnota udávaná přístrojem Alambeta se musí dělit 10^3 .

Plošný odpor vedení tepla r [$\text{W}^{-1} \text{K} \cdot \text{m}^2$] – poměr tloušťky materiálu a měrné tepelné vodivosti. Hodnota udávaná přístrojem Alambeta se musí dělit 10^3 .

$$r = \frac{h}{\lambda} \quad (17)$$

kde:

h tloušťka

λ měrná tepelná vodivost

Tepelný tok q [W/m^2] – množství tepla, které se šíří hlavicí přístroje o teplotě t_2 do textilie o počáteční teplotě t_1 za jednotku času.

Měrná teplotní vodivost a [m^2/s^{-1}] – schopnost látky vyrovnat teplotní změny. Hodnota udávaná přístrojem Alambeta se musí dělit 10^6 .

Tepelná jímavost b [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \text{s}^{-1/2} \text{K}^{-1}$] – množství tepla, které proteče při rozdílu teplot 1 K jednotkou plochy za jednotku času v důsledku akumulace tepla v jednotkovém objemu.

$$b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c} \quad (18)$$

kde:

λ měrná tepelná vodivost

$\rho \cdot c$ tepelná kapacita

Součin ρc [J/kgK] – tento součin značí množství tepla potřebné k ohřátí 1kg materiálu o 1K. Hodnota vykázaná na přístroji se dělí 10^6 . [1]

$$\rho c = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (19)$$

4.2.8. Textest FX 3300

Elektrický přístroj na měření propustnosti vzduchu textilií (prodyšnost). Princip přístroje spočívá ve vytvoření tlakového rozdílu mezi oběma povrchy zkoušené textilie a následného měření průtoku vzduchu. Výhodou je nedestrukční způsob měření. Měřená plocha má 5 cm^2 nebo 20 cm^2 . Propustnost se udává m/s. [1]

4.2.9. Potící se torzo

Torzo je v podstatě válec o velikosti lidského trupu, jehož jednotlivé vrstvy mají imitovat lidské tělo. Válec je naplněn vodou o teplotě 33°C tedy teplotou lidského těla. Teplota se udržuje pomocí 20 čidel, která jsou umístěna po celém torzu. V případě potřeby se torzo ohřívá pomocí topných fólií. Torzo má na svém povrchu celkem 36 potících trysek, které napodobují potící se žlázy.

Torzo je při měření umístěno vertikálně do klimatické komory, kde vzduch proudí o rychlosti 2 m/s. na povrch torza se přiloží zkušební vzorek a systém se uzavře vnějším pláštěm. Měření se provádí při různém zatížení 350 a 500 W Podle dodávaného příkonu k udržení teploty zjišťujeme tepelné ztráty. [1]

4.2.10. Tepelný manekýn

Tepelný manekýn obdobně jako vyhřívané torzo imituje lidské tělo, ale už se schopností omezeného pohybu. Tepelný manekýn je rozdělen do 17 nezávislých tepelných segmentů, které slouží k udržení povrchové teploty pomocí počítače a příkonu [W] na 33°C. Počítač pomocí hodnot vypočítá odvod tepla do okolí. V první fázi se měření provádí na neoblečeném manekýnovi, v druhé fázi je manekýn oblečen. Naměřené hodnoty jsou od sebe následně odečteny, tím získáme konečnou hodnotu R_{ct} . Satoru Ueno a Shin-ichi Sawada v roce 2012 pomocí tepelného manekýna měřili odpařovací odpor oděvu podle teploty na figuríně [1,18].

V hodnocení pomocí figurín dochází k velkému vývoji, různí výrobci k vývoji přistupují různým způsobem, odlišné návrhy ne vždy vedou ke stejným výsledkům.

5. Termografie

Termografie respektive infračervená termografie je vědní obor zabývající se zaznamenáním a analýzou rozložení teplotního pole na povrchu tělesa. Jedná se o bezkontaktní měřicí metodu. Jejím úkolem je analýza infračervené energie vyzařované tělesem. Tento vědní obor se velice rozvinul společně s rozšířením infračervených kamer. Pro které se vžilo označení jako termovizní kamery neboli termovize. Na princip tohoto měření přišel fyzik Max Planck. [13, 14]

5.1. Infračervené záření

Infračervené záření (IR) je elektromagnetické záření mezi viditelným světlem a mikrovlnami. Rozmezí vlnových délek infračerveného záření se pohybuje od $1000\mu\text{m}$ do $0,76\mu\text{m}$. [13, 14]

Rozdělení infračerveného záření:

- blízké IR ($0,76\mu\text{m} - 3\mu\text{m}$)
- střední IR ($3\mu\text{m} - 6\mu\text{m}$)
- vzdálené IR ($6\mu\text{m} - 15\mu\text{m}$)
- velmi vzdálené IR ($15\mu\text{m} - 1000\mu\text{m}$)

Lidské oko toto záření není schopno zachytit. Zdrojem IR jsou všechna tělesa, jejichž teplota je vyšší než 0K (-273°C) čímž dochází k pohybu molekul a vzniku tepla. Vlnová délka závisí na teplotě. Čím je teplota vyšší, tím je délka vydávaného záření kratší. U vysokých teplot záření dosahuje až oblasti viditelného spektra. [13, 14]

Díky schopnosti přeměny energie elektromagnetického vlnění na vnitřní energii pohlcujícího tělesa je IR využito v mnoha oblastech.

Příklady využití IR: sušení, ohřev, vytápění, ve vojenské technice při sledování nebo navádění raket, pro noční vidění, v infračervené spektroskopii, ve stavebnictví (únik tepla z budov), v optoelektronice, apod. [13, 27]

6. Důležité zákony pro IR měření teploty

Při měření teploty pomocí infračerveného záření je důležité znát zákony o vyzařování.

Planckův vyzařovací zákon

Planckův vyzařovací zákon vyjadřuje závislost intenzity záření I absolutně černého tělesa na frekvenci ω .

$$I(\omega) d\omega = \frac{\hbar}{\pi^2 c^3} \frac{\omega^3}{e^{\frac{\hbar\omega}{kT}} - 1} d\omega, \quad (20)$$

kde:

I	Intenzita záření [rad.s^{-1}]
ω	úhlová frekvence záření [W]
T	teplota absolutně černého tělesa [K]
h	Planckova konstanta [$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{W}$]
c	rychlost světla [$2.998 \cdot 10^8 \text{m.s}^{-1}$]
k	Boltzmannova konstanta [$k = 1.3806 \cdot 10^{-23} \text{J.K}^{-1}$]

Wienův posunovací zákon

Záření absolutně černého tělesa je maximální energie vyzařovaná na vlnové délce, která se s rostoucí termodynamickou teplotou posouvá k menším vlnovým délkám tedy k viditelnému spektru.

$$\lambda_{\max} = b/T \quad (21)$$

kde:

λ_{\max}	vlnová délka maxima vyzařování [mm]
T	teplotu tělesa [K]
b	Wienova konstanta [$b = 2,897\,756 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$]

Kirchhoffův zákon vyzařování

Záření, pohlcené termokamerou, se skládá z (12) vyzaření (emisivita), odražené (reflexe) a přenesené složky (transmise) infračerveného záření. Součet těchto složek je 1.

$$\varepsilon + \rho + T = 1 \quad (22)$$

kde:

- ε emisivita (vyzaření záření) [-]
- ρ reflexe (odražené záření) [-]
- T transmise (propuštění záření) [-]

Spektrální pohltivost α_v povrchu libovolné látky se rovná jeho spektrální emisivitě ε_v , neboli povrchy u těles, která dobře pohlcují záření. Jsou i dobrými zářiči.

$$\alpha_v = \varepsilon_v \quad (23)$$

Stefan-Boltzmannův zákon vyzařování

Stefan-Boltzmannův zákon popisuje celkovou intenzitu záření absolutně černého tělesa. Zákon říká, že intenzita vyzařování roste se čtvrtou mocninou termodynamické teploty zářícího tělesa.

$$I = \sigma T^4 \quad (24)$$

kde:

- I celková intenzita vyzařování [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]
- σ Stefan-Boltzmannova konstanta [$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$]
- T termodynamická teplota [K]

7. Emisivita

Emisivita ε je definována jako poměr energie vyzařované H_E objektem při jeho dané teplotě k energii vyzařované absolutně černým tělesem H_{EO} se stejnou teplotou (25). Emisivita je bezrozměrná veličina, která nabývá hodnot 0 až 1. Absolutně černé těleso má emisivitu 1, běžná tělesa mají emisivitu menší než 1, lesklá tělesa mají emisivitu velmi malou okolo 0,1. Pokožka lidského těla má emisivitu blízkou 1. Dalo by se tedy říci, že je to měřítko „ochoty“ materiálu pohlcovat a tedy i vyzařovat IR. [28,29,30]

$$\varepsilon = H_E / H_{EO} \quad (25)$$

Emisivita je ovlivněna několika faktory:

- Teplota materiálu.
- Povrchová vrstva (barva, struktura).
- Vlnová délka emitované energie.
- Úhel odklonu od normály povrchu.

7.1. Stanovení emisivity materiálu

Pro stanovení emisivity materiálu existuje několik způsobů. [29]

- Vyhledat emisivitu v tabulkách (pouze často používané materiály).
- Porovnání emisivit.
- Použití termoelektrického článku.

Porovnání emisivit

Metoda porovnání emisivit vyžaduje, aby část zkoumaného vzorku byla opatřena povrchem povlaku o známé emisivitě. Vzorek je pak buď zahřát nebo ochlazen na určitou teplotu. Na termovizní kameře se následně nastaví emisivita povlaku. Pro vyhodnocení se vybere v oblasti potažené povlakem a odečte se teplota. Následně se vybere bod na materiálu bez povlaku. Na tomto bodě je měřena teplota a současně je na kameře nastavována emisivita, dokud kamera neudává v měřeném bodě stejnou teplotu, jaká byla v bodě na části s povlakem. Body by měly být voleny blízko sebe viz. Obr. 23, ale termovizní kamera nesmí zaznamenávat obě oblasti. Teplota okolního prostředí nesmí být blízká teplotě materiálu. [29]

Použití termoelektrického článku

Při použití termočlánku si zvolíme bod a jeho teplotu změříme pomocí termočlánku. Následně na termovizní kameře upravujeme hodnotu emisivity tak dlouho, dokud se hodnoty teplot termovizní kamery a termočlánku nedostanou na stejnou hodnotu. [29]

Výhodou této metody je, že se nemusí na materiál nanášet žádný povlak, jehož emisivitu musíme předem znát.

Problém může nastat, s upevněním termočlánku na vzorek. Termočlánek musí být v neustálém kontaktu s povrchem měřeného materiálu. Při lepení termočlánku lepidlem ke vzorku dojde k ovlivnění měření.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Cíl experimentální části této diplomové práce spočívá v měření fyziologického komfortu na šesti různých sportovních trikách. Testování probíhalo v klimatizované místnosti při jízdě na rotopedu. Při jízdě proband udržoval tepovou frekvenci v rozmezí 70 – 75% ze svého maxima. Měření se provádělo pomocí senzorů a pomocí termovizní kamery. Zjištěné údaje jsou zaznamenány v tabulkách a grafech. Přičemž teploty zadního dílu trika naměřené pomocí senzorů a termovizní kamery byly následně porovnány a jsou diskutovány případné rozdíly teplot.

K objektivnímu měření pomocí senzorů a termovizní kamery bylo zjišťováno i subjektivní hodnocení triček probandy.

Vzhledem k použití termovizní kamery při měření, bylo nutné ještě před samotným měřením termovizní kamerou zjistit emisivitu testovaných triček.

8. Charakteristika testovaných sportovních triček

Pro experiment byla zvolena trika dvojího materiálového složení (100% bavlna a 100% polyester) a ve třech barevných provedeních (bílá, černá, červená), celkem tedy šest trik (Tab. 1) v gramáži 150g/m². Podrobný popis materiálů je uveden v příloze č. 1.

Tab. 1 Přehled použitých materiálů

Druh	Barva	Materiálové složení	Plošná hmotnost [g/m ²]
Jednolícni pletenina	Bílá	100% bavlna	150
Jednolícni pletenina	Černá	100% bavlna	150
Jednolícni pletenina	Červená	100% bavlna	150
Oboulícni pletenina	Bílá	100% polyester	150
Oboulícni pletenina	Černá	100% polyester	150
Oboulícni pletenina	Červená	100% polyester	150

9. Měření emisivity sportovních triček

Pro stanovení emisivity materiálů měřených triček byla zvolena metoda zjišťování emisivity pomocí termočlánku. Trička byla ponechána 24 hodin v klimatizované místnosti, aby se jim ustálila teplota. Následně byly na každé tričko připevněny dva termočlánky proti sobě. Pomocí termovizní kamery byla snímána teplota měřeného trička.

Podstata a postup zkoušky:

Podstatou zkoušky bylo připevnit na tričko dva termočlánky SA1 (Obr. 5) proti sobě z lící a z rubní části trička. Termočlánky byly připojeny k přístroji ALMEMO 2590, který zobrazoval na displeji naměřenou teplotu. Nechala se ustálit teplota na termočláncích (teplota měřená termočlánky by měla být stejná díky klimatizaci triček). Pomocí termovizní kamery byla snímána teplota a snižována nebo zvyšována emisivita do doby, než termovizní kamera ukazovala stejnou teplotu měřeného trička, kterou ukazovaly termočlánky. Naměřené hodnoty se postupně zaznamenávaly do Excelu. Tabulka je uvedena v příloze III, výsledné hodnoty naměřených emisivit triček jsou v Tab. 2.

Tab. 2 Výsledné hodnoty emisivity jednotlivých triček

Materiál	Bílá	Černá	Červená
100% bavlna	0,80	0,84	0,83
100% polyester	0,78	0,83	0,82



Obr. 5 Termočlánek SA1

Měření se provádělo v klimatizované místnosti o teplotě 21,8°C a vlhkosti 59%. Termovizní kamera byla umístěna na stativu tak, aby nesvírala žádný úhel.

Vzdálenost od měřeného objektu byla 1 m. Úhel měření byl nastaven umístěním trika na odkloněnou desku pod úhlem 10° .

Při měření byla použita termovizní kamera ThermoCamTMS60 (Obr. 6). Tato termovizní kamera se skládá ze samostatné kamery a z odnímatelného dálkového ovládání. Na dálkovém ovládání a kameře jsou stejná ovládací tlačítka a joystick. Parametry termovizní kamery jsou napsány v příloze IV.



Obr. 6 Termovizní kamera Thermo CamTM S60 [36]

Nastavené parametry na termovizní kameře při testování emisivity:

- teplota atmosféry: $21,8^\circ\text{C}$
- vzdálenost od měřeného objektu: 1 m
- vlhkost: 59%
- vzdálenost zdánlivě odražená: $28,3^\circ\text{C}$

10. Měření teploty a vlhkosti pomocí senzorů

Měření probíhalo pomocí tří probandů při fyzické zátěži v klimatizované místnosti na katedře oděvnictví Technické univerzity v Liberci. Před každým testem byly zaznamenány hodnoty teploty a vlhkosti v místnosti, hodnoty jsou zaznamenány v tabulce přílohy V. Každý z probandů testoval jednu barvu trika z bavlny a polyesteru. Každé triko bylo testováno celkem třikrát. Každý testovaný jedinec tedy absolvoval šest měření. V Tab. 3 jsou uvedeny i základní údaje o probandech. Po každém testování bylo triko vypráno v pračce. Doba praní byla 30 min, 800 ot. /min.

Tab. 3 Základní údaje o probandech

	Proband č. 1	Proband č. 2	Proband č. 3
Barva trika	Bílá	Černá	Červená
Věk	25 let	21 let	26 let
Váha	75 kg	65 kg	94 kg
Výška	171 cm	176 cm	185 cm
Maximální tepová frekvence	195 t/min	199 t/min	194 t/min
Tepová frekvence při 70% zátěže	137 t/min	139 t/min	136 t/min
Tepová frekvence při 75% zátěže	146 t/min	149 t/min	146 t/min

10.1. Tepová frekvence a její měření

Tepová frekvence udává počet tepů srdce za minutu, závisí na celé řadě faktorů, nejdůležitější je věk, kondice (trénovanost) a stresové zatížení člověka.

Tepovou frekvenci rozlišujeme:

- Klidovou tepovou frekvenci (65 – 80 t /min).
- Aerobní tepovou frekvenci (70 – 80 % z maximální tepové frekvence).
- Maximální tepovou frekvenci (220 – 80 věk) – je to hodnota maximální zátěže při, které ještě nedochází ke zdravotním rizikům.

Tepovou frekvenci nejčastěji měříme na zápěstí a na krku. Při měření tepu při sportu se využívají tzv. sporttestery, tento způsob měření byl využit i při našem měření. Sporttestery se skládají ze dvou částí vysílače a přijímače. „Vysílač má podobu plastového pásu, který je pomocí gumového popruhu umístěn na holém těle těsně pod hrudním košem. Tento vysílač má na straně, která je ve styku s pokožkou, umístěny elektrody (pravá a levá), které snímají zvlášť obě vertikální poloviny těla. Vysílač je bezdrátově spojen s přijímačem, do kterého vysílá naměřené elektrické impulsy. Přijímač vypadá jako běžné sportovní hodinky, je však vybaven softwarem pro zpracování naměřených hodnot“ [30].



Obr. 7 Textilní hrudní pás Comfort Dual Belt pro měření tepové frekvence a hodinky Suunto t6d [31]

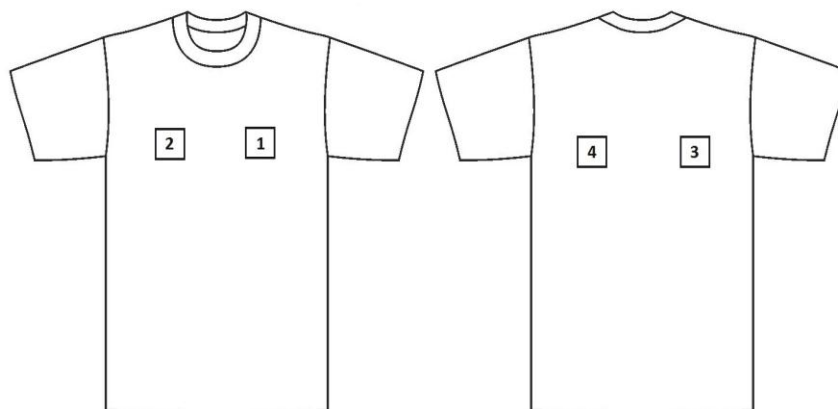
10.2. Senzory SHT21

Pro měření teploty vlhkosti byly použity čtyři senzory SHT21 (Obr. 8). Každý ze senzorů byl zašit do kapsičky (Obr 8) z paropropustného materiálu Neoshell. Kapsičky byly následně našity stehovací nití na příslušné místo dle Obr. 9 na trika. Přesné umístění kapsiček dle konfekčních velikostí probandů je znázorněno v příloze VI. K dispozici bylo celkem šest senzorů, bohužel postupně během měření dva vypověděly svou funkci.

Přesnost senzorů je $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ a 2% relativní vlhkosti při 25°C . [25]



Obr. 8 Senzor SHT21 a kapsička na senzor z Neoshellu



Obr. 9 Umístění čidel na triku

10.3. Měřicí jednotka a aplikace HUMITEM

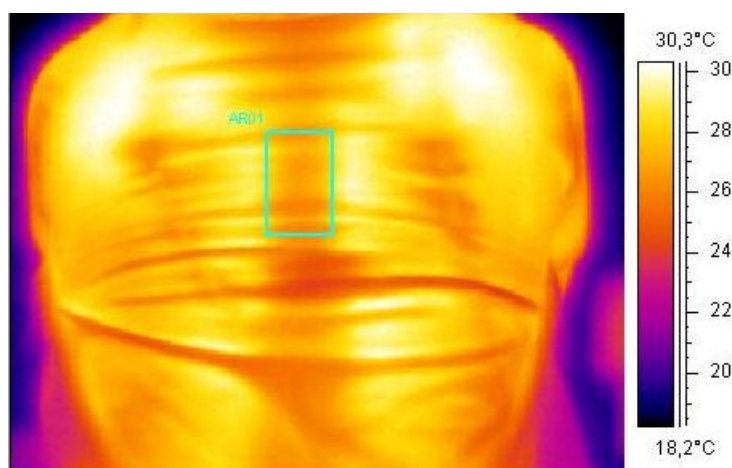
Data z digitálních senzorů jsou zachycena a sbírána pomocí mikroprocesorů a jsou přenášena pomocí komerčního DECT modulu (příloha VII), který umožňuje komunikaci na dálku asi 0,5 km v pásmu 1,9 GHz. Údaje jsou přijímány druhým DECT (Digital Enhance Cordless Telecommunications) modulem a přes USB rozhraní jsou předávány do notebooku, kde jsou zobrazeny v grafech pomocí uživatelské aplikace HUMITEM. Hlavní panel aplikace se skládá z informačních a kontrolních panelů (příloha VII). Získaná data jsou ukládána ve formátu TXT, který umožňuje další zpracování v MATLABu a Excelu. [26]

10.4. Postup při testování pomocí senzorů

Před měřením byly na trika umístěny senzory dle konfekční velikosti. Proband si před navlečení trika s připevněnými senzory připevnil hrudní pás, pomocí kterého sledoval svou srdeční frekvenci na displeji hodinek. Samotný test mohl začít, až proband ustálil srdeční frekvenci na klidovou frekvenci 75 t/min. Poté bylo navázáno spojení pomocí DECT modulů s aplikací HUMITEM. Data byla po celou dobu testu zobrazována v notebooku pomocí aplikace HUMITEM. Po skončení testu byla data uložena ve formátu TXT. Následně byla data zpracována v MATLABu. Testování probíhalo při jízdě na rotopedu. Při jízdě proband udržoval tepovou frekvenci v rozmezí 70 – 75% ze svého maxima (Tab. 3). V průběhu testu tepovou frekvenci hlídala zvuková signalizace hodinek, na kterých bylo nataveno dané rozmezí pro právě testovaného probanda. Testování probíhalo vždy 45 minut.

11. Měření teploty pomocí termovizní kamery

Měření termovizní kamerou probíhalo současně s měřením pomocí senzorů. Termovizní kamera byla umístěna na stativu tak, aby nesvírala žádný úhel. Vzdálenost od probanda byla nastavena na 1 m. Na kameře byly nastaveny aktuální klimatické podmínky (příloha V) a následně nastaveno automatické snímkování po 1 minutě. Během testu se tedy vytvořilo 45 snímků. Snímky byly následně přeneseny do počítače a zpracovány pomocí programu ThermaCAMTM Researcher. Po vyvolání snímků v programu byla vytvořena sledovaná oblast pomocí obdélníku. Sledovaná oblast byla umístěna mezi senzory v místě lopatek na zádech Obr. 10. Získaná data byla následně vyhodnocena v programech Excel a MATLAB.



Obr. 10 Snímek vyfocení termovizní kamerou s vyznačenou sledovanou oblastí
v programu ThermaCAMTM

12. Vyhodnocení výsledku

Při vyhodnocování výsledků se nejdříve budeme zabývat vyhodnocením dat získaných pomocí senzorů. Vyhodnocovat budeme zvlášť teplotu a zvlášť vlhkosti. Následně budou vyhodnocena data z termovizní kamery. Před konečným porovnáním výsledků bude vyhodnoceno subjektivní hodnocení probandů. Následně bude porovnáno subjektivní hodnocení probandů s objektivním hodnocením pomocí senzorů a termovizní kamery.

Při testování docházelo v první fázi k oteplení z důvodu zvýšené fyzické zátěže, kterou proband musel vynaložit na získání požadovaného rozmezí tepové frekvence. Při pokračující zátěži proband začínal cítit teplo a na to následně tělo probanda začalo reagovat. Reakce spočívá v ochlazování těla proti přehřátí pomocí potu. Pocení způsobovalo pocit diskomfortu v podobě chladu. Pot byl transportován pomocí trika od těla a následovalo odpařování. Následně se tento proces opakoval. V podstatě se jedná o procesy vlhčení, transport a sušení. Čím kratší je opakování, tím je testovaný materiál komfortnější.

12.1. Vyhodnocení výsledku měření teploty a vlhkosti pomocí senzorů

Nejdříve byl z naměřených dat vytvořen průměr ze senzorů na předním a zadním díle trika, viz příloha IX. Následně byly získány průměrné hodnoty z jednotlivých měření trik předního a zadního dílu Tab. 4. Průběhy naměřených průměrných teplot u jednotlivých trik jsou znázorněny v grafech Obr. 11 a 12. Průběhy naměřených průměrných vlhkostí u jednotlivých trik jsou znázorněny v grafech Obr. 13 a 14. V příloze XI jsou v grafech znázorněny průběhy průměrných teplot a vlhkostí předních a zadních senzorů z jednotlivých měření a zároveň celkový průměr z měření daného trika.

Rozdíly mezi měřeními trik jednoho druhu bych přisuzovala rozdílným proporcím a fyzické kondici probandů, přestože všichni testovaní probandi aktivně sportují. Přesnější údaje z měření jsou ze zadních senzorů. Přední díl trika se občas

při pohybu vzdálil od těla. Přestože trika byla na probandech upravena tak, aby byla co nejtěsnější.

Tab. 4 Průměrná data získaná pomocí senzorů

			Průměrná teplota [°C]		Průměrná vlhkost [%]		Čas průměrné teploty [min]	
			Max	Min	Max	Min	Max	Min
Bavlna	Bílé triko	Přední díl	28,20	26,80	94,90	65,13	18,21	0,13
		Zadní díl	30,63	29,77	97,13	73,22	44,43	0,43
	Černé triko	Přední díl	29,44	27,35	95,50	60,25	4,70	31,80
		Zadní díl	32,01	29,78	97,17	64,80	5,48	0,13
	Červené triko	Přední díl	30,20	27,70	92,75	46,68	8,81	27,48
		Zadní díl	30,64	28,16	97,77	48,65	5,27	24,08
Polyester	Bílé triko	Přední díl	29,43	27,08	95,65	64,10	1,77	21,01
		Zadní díl	30,58	29,69	98,75	64,72	1,64	14,24
	Černé triko	Přední díl	30,47	28,48	97,88	60,55	11,35	26,88
		Zadní díl	30,93	29,53	98,47	61,53	5,65	30,94
	Červené triko	Přední díl	28,15	26,10	97,63	49,55	2,07	36,72
		Zadní díl	29,99	27,78	95,75	45,97	6,73	27,01

12.1.1. Vyhodnocení teploty

Mezi naměřenými hodnotami teploty na předním a zadním dílem jsou značné rozdíly. Na první pohled je z grafů Obr. 11 a 12 patrné, že teploty na předním díle dosahovaly nižších hodnot. Je to pravděpodobně důsledek toho, že triko se senzory na zádech je v těsném kontaktu, zatímco přední díl trika se občas při pohybu vzdálil od těla. Přestože triko na probandovi je upraveno, aby bylo co nejtěsnější.

Na zadním díle u všech polyesterových trik byly nižší teploty než u trik bavlněných. Zatímco na předním díle mělo černé a bílé polyesterové triko vyšší teploty, u černého polyesterového trika byly teploty vyšší o 1 až 2 °C, než u bavlněného trika v průběhu celého měření. U bílého trika byla výrazně vyšší teplota pouze v prvních osmi minutách. Po osmé minutě se teploty u polyesterového a bavlněného trika vyrovnaly a po zbytek měření byly velice podobné.

Z průběhu křivek bylo patrné že, u všech testovaných trik teploty mikroklimatu po prvotním zvýšení teploty ve většině případu dosažení maxima měly klesající tendenci. Výjimku tvořilo bílé triko. Bílé triko mělo tendenci po prvotním navýšení teploty u polyesteru tendenci mírně klesnout a následně zůstat v relativní rovině s mírným stoupáním. U bavlny po navýšení teploty křivka zůstávala v relativní rovině s mírným stoupáním bez poklesu teploty.

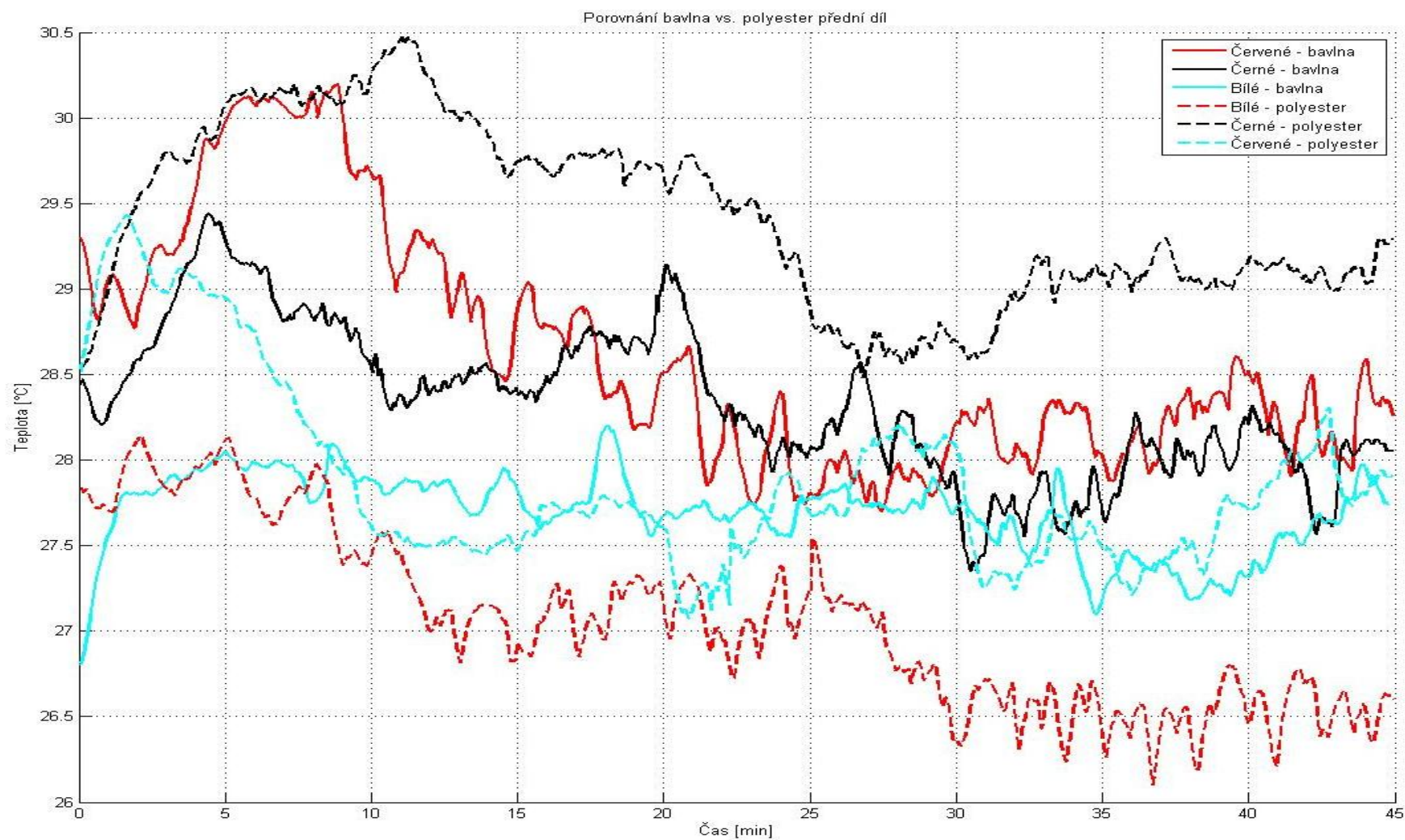
12.1.2. Vyhodnocení vlhkosti

Stejně jako u teploty i u vlhkosti jsou na první pohled z grafů Obr. 13 a 14 patrné rozdíly mezi předními a zadními díly, u zadního dílu trik bylo dosažení maximální vlhkosti daleko rychlejší. U předních dílů byl nárůst vlhkosti pozvolnější.

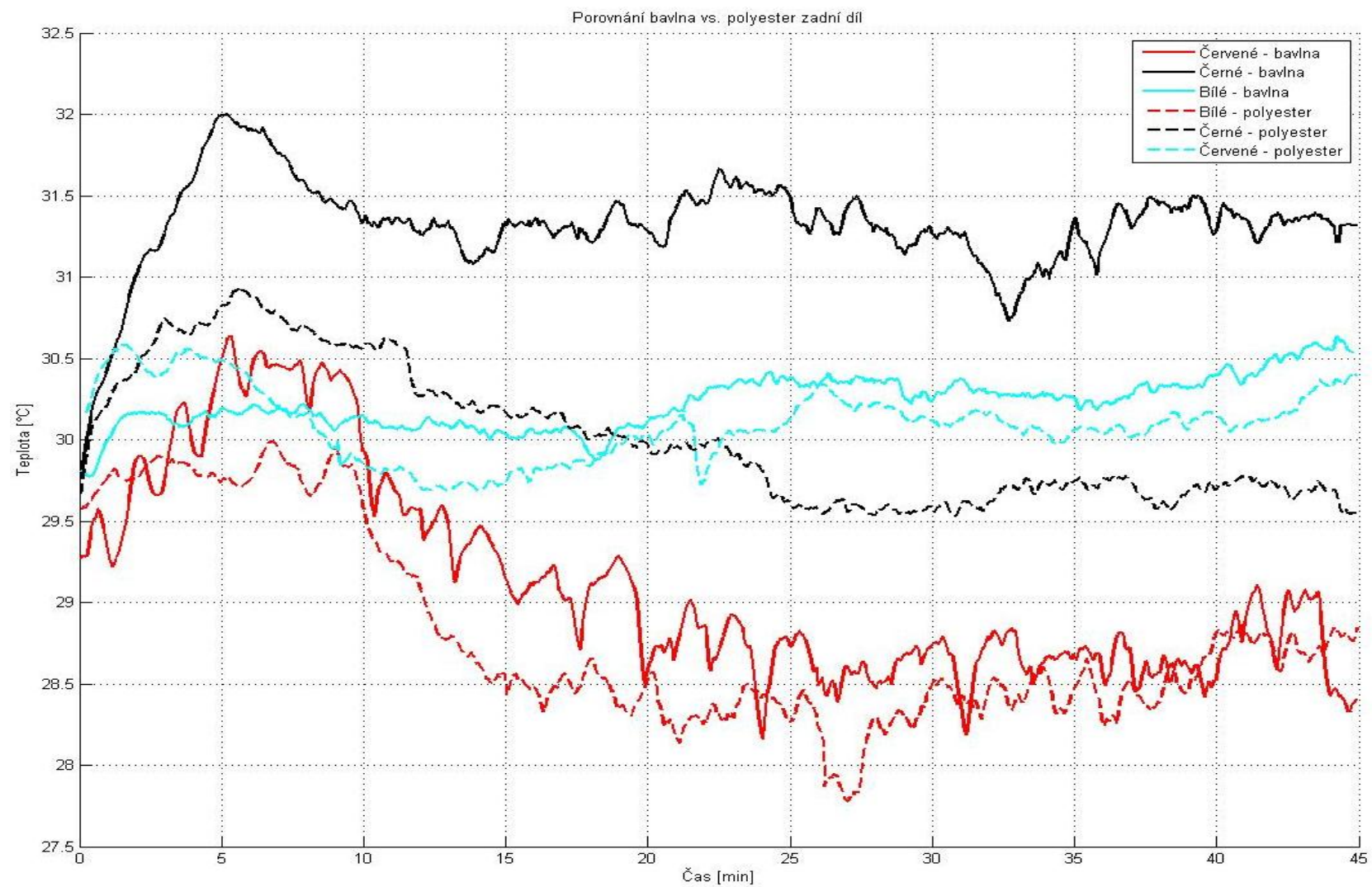
Bavlněná trika dosahovala vlhkosti rychleji, ale polyesterová trika dosahovala větších hodnot vlhkosti.

U předních dílů bylo dosaženo větší vlhkosti na polyesterových trikách. U zadních dílů tomu bylo také tak, kromě červeného trika. Červené bavlněné triko na zadním díle mělo po celou dobu měření větší vlhkost. Červené bavlněné triko mělo větší vlhkost i na předním díle od 4,5 – 11 minuty než polyesterové triko.

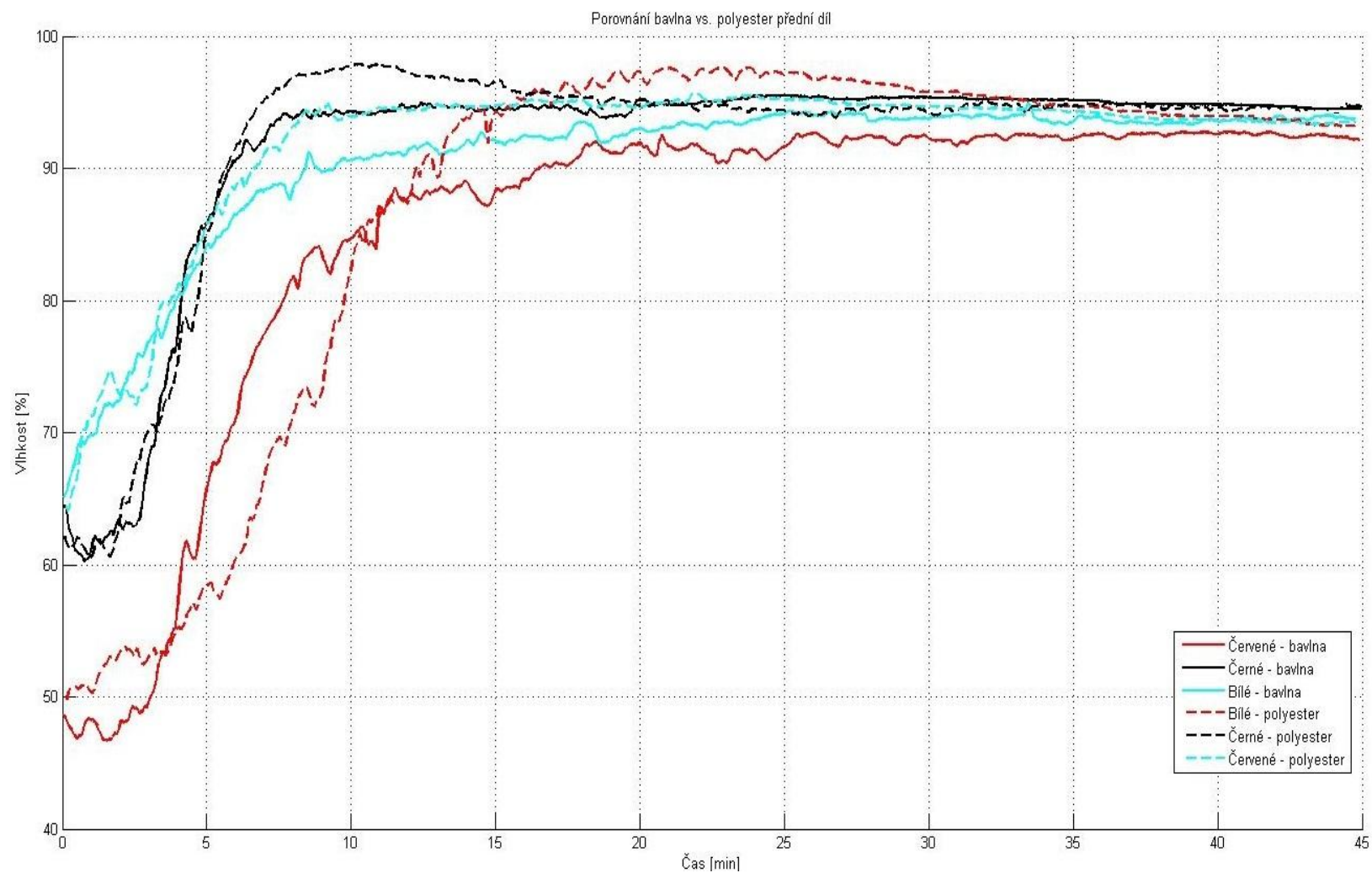
U bílého trika byl nástup vlhkosti od začátku měření. Ostatní trika neměla do 2 až 4 minuty relativně žádný nárůst vlhkosti. U červených trik bylo maximální vlhkosti dosaženo mnohem později než u bílého a červeného trika. Tyto odlišnosti měření jsou pravděpodobně způsobeny různou fyzickou kondicí probandů. Všichni sice byli sportovci, ale pouze proband testující černé triko byl zvyklý jezdit na kole.



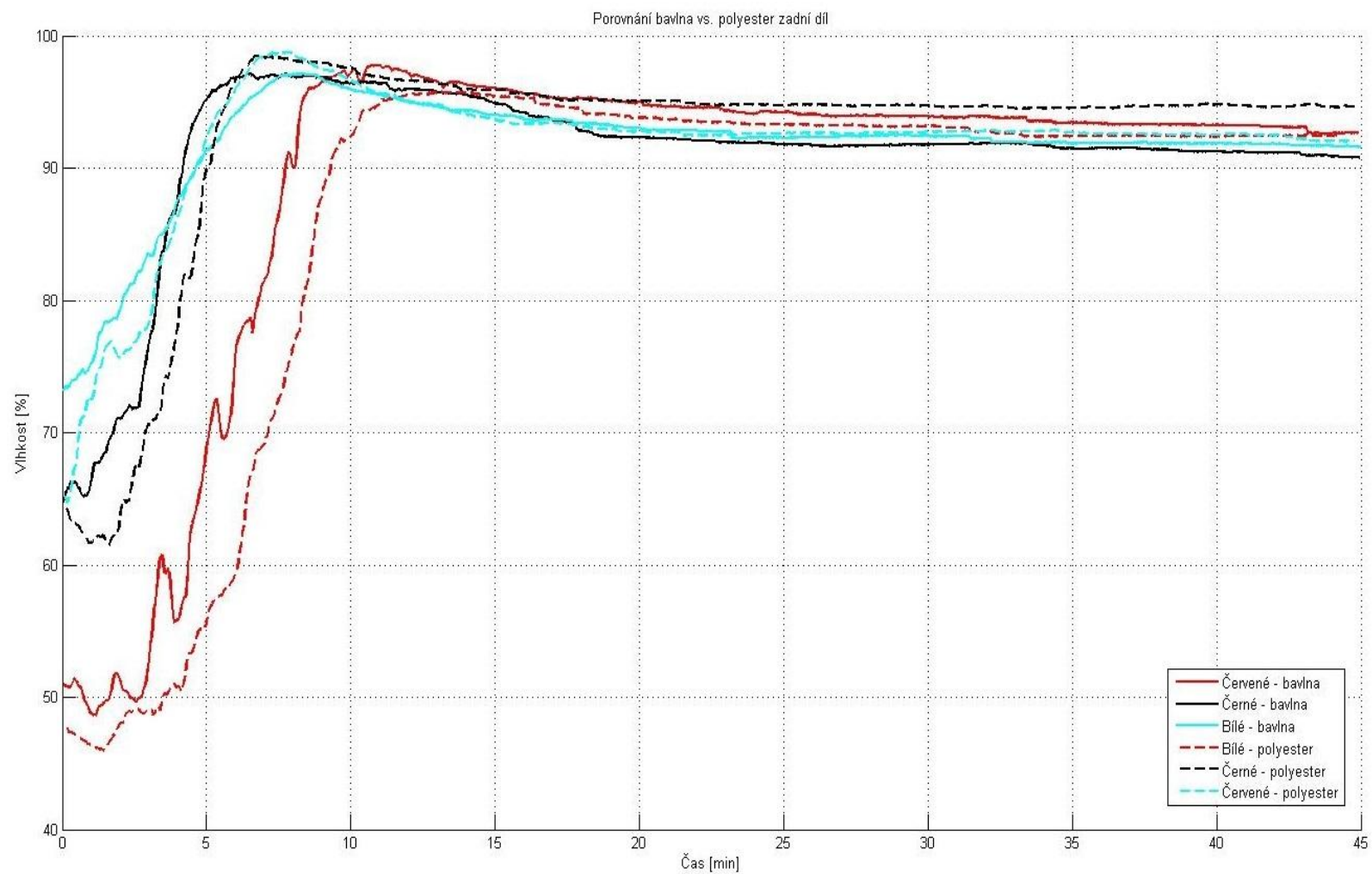
Obr. 11 Graf průběhu naměřených průměrných teplot u jednotlivých trik na předním díle



Obr. 12 Graf průběhu naměřených průměrných teplot u jednotlivých trik na zadním díle



Obr. 13 Graf průběhu naměřených průměrných vlhkostí u jednotlivých trik na předním díle



Obr. 14 Graf průběhu naměřených průměrných vlhkostí u jednotlivých trik na zadním díle

12.2. Vyhodnocení výsledku měření teploty pomocí termovizní kamery

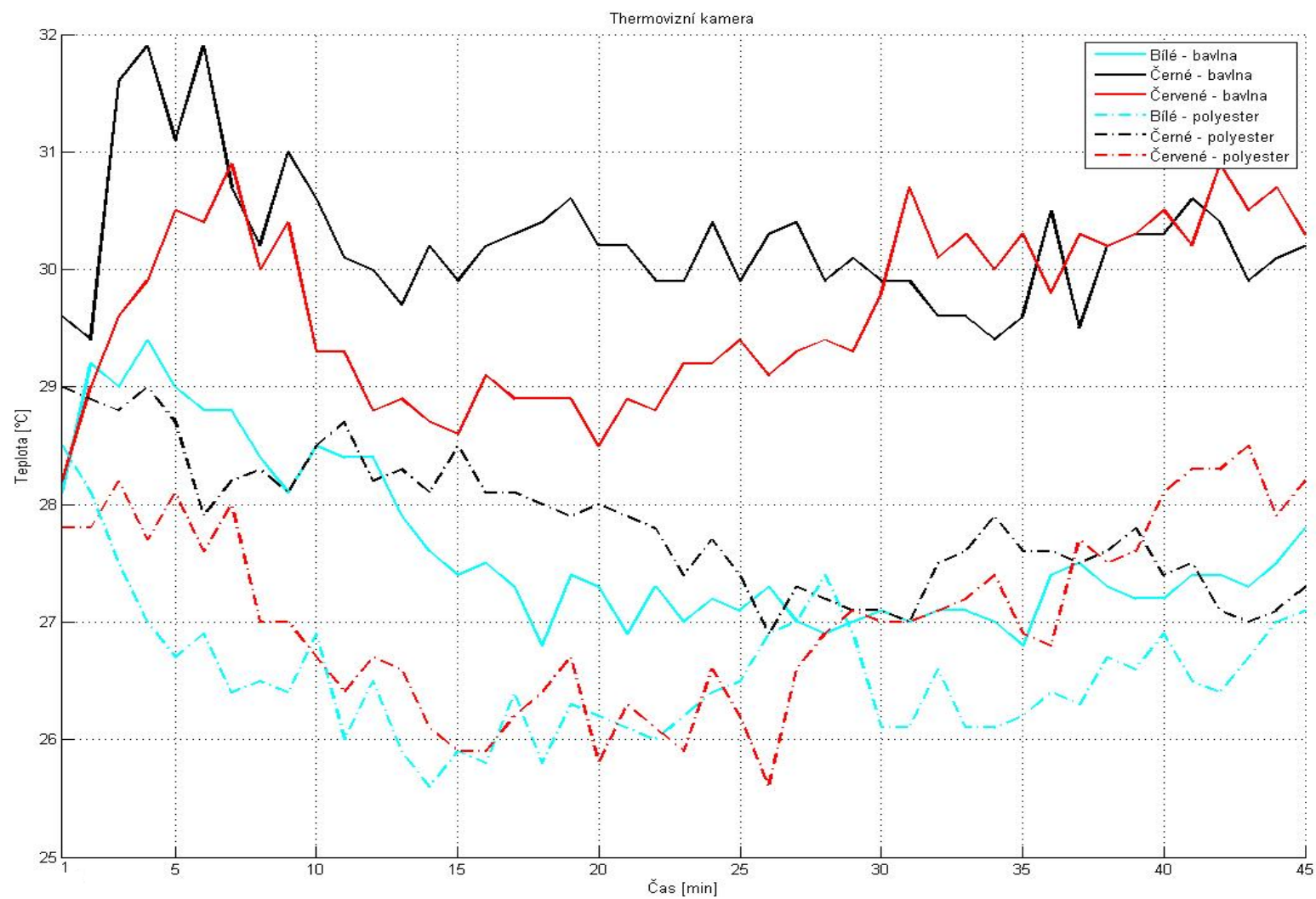
V Tab. 5 jsou uvedeny průměrné údaje ze všech měření termovizní kamerou. Tabulky s hodnotami z jednotlivých měření a grafy průběhů naměřených hodnot jsou v příloze XII. Na Obr. č. 15 je znázorněn graf průběhu naměřených průměrných teplot u jednotlivých bavlněných a polyesterových trik.

Jak je vidět na grafu Obr. 15 bílé bavlněné triko vykazuje výrazný rozdíl v měření. Průměrné teploty v celém měření jsou výrazně nižší než u černého a červeného bavlněného trika. Teploty se pohybují v hodnotách naměřených u polyesterových trik.

Rozdíl mezi bavlněnými a polyesterovými triky se vyznačuje nižšími teplotami cca o 2,5°C, kromě již zmíněného bílého bavlněného trika, tam je rozdíl pouze 1 °C mezi bílým bavlněným a bílým polyesterovým trikem. U bavlněných trik je také výraznější nárůst teploty před výrazným ochlazením.

Tab. 5 Průměrné hodnoty z měření termovizní kamerou

		Průměrná teplota [°C]		Čas průměrné teploty [min]		Rozdíl (maxima, minima) [°C]	Celková průměrná teplota [°C]
		Max	Min	Max	Min		
Bavlna	Bílé triko	29,4	26,8	4	18 a 35	2,7	27,6
	Černé triko	31,9	29,4	4 a 6	2	2,5	30,2
	Červené triko	30,9	28,2	7	1	2,7	29,7
Polyester	Bílé triko	28,5	25,6	1	14	2,9	26,5
	Černé triko	29,0	26,9	1	26	2,1	26,9
	Červené triko	28,5	25,6	43	26	2,9	27,1



Obr. 15 Graf průběhu naměřených průměrných teplot termovizní kamerou u jednotlivých trik

12.3. Subjektivní hodnocení triček probandy

Probandi měli trika ohodnotit, jak se v triku cítili před testem, v průběhu testu a po testu. Hodnotit měli celkový komfortní pocit (pocit tepla, vlhkosti, senzorický komfort). Hodnotit měli pomocí hodnotící škály 1 - 5 jako ve škole (1 – velmi příjemný pocit, 2 – příjemný pocit, 3 – neutrální, 4 – mírně nepříjemný pocit, 5 – nepříjemný pocit).

12.3.1. Subjektivní hodnocení probanda č. 1 testujícího bílá trika

V Tab. 6 a 7 je znázorněno subjektivní hodnocení prvního probanda, který testoval trika bílé barvy. Hodnocení bavlněného trika je znázorněno v Tab. 6. Před testem byl proband velice spokojen, cítil se v něm v teple a neměl žádné nepříjemné pocity. V průběhu testu proband cítil ochlazení, po testu mu bylo chladno. Hlavně mu vadilo, jak triko bylo úplně mokré a lepilo se na tělo. Ochlazení nastalo z důvodu, že bavlna absorbovala vlhkost. Studený pocit vznikl díky odpařování pomocí výparného tepla. Celkově triko ohodnotil jako neutrální vhodné pro normální použití, ale pro větší zátěž by volil nějaký funkční materiál.

Tab. 6 Subjektivní hodnocení testovaného bavlněného trika probandem

Subjektivní hodnocení oděvu probandem	Bavlnění triko proband č. 1				
	1	2	3	4	5
Před testem	X				
V průběhu testu			X		
Po testu				X	

V Tab. 7 je znázorněno hodnocení polyesterového trika. Vzhledem k tomu, že proband má k polyesterovým trikům averzi, už jeho hodnocení před testem bylo spíše negativní. V průběhu testu měl studený a vlhký pocit, z důvodu stékání potu po těle. Po skončení testu měl pocit chladu velikého vlhka, po svlečení trika se musel celý otřít.

Tab. 7 Subjektivní hodnocení testovaného polyesterového trika probandem

Subjektivní hodnocení oděvu probandem	Polyesterové triko proband č. 1				
	1	2	3	4	5
Před testem				X	
V průběhu testu				X	
Po testu				X	

Proband č. 1 polyesterové triko celkově ohodnotil jako nepříjemné, vůbec nepoužívá, dává přednost bavlně.

12.3.2. Subjektivní hodnocení probanda č. 2 testujícího černá trika

Subjektivní hodnocení probandem č. 2 je znázorněno v Tab. 8 a 9. Hodnocení bavlněného trika je v Tab. 8. Černé bavlněné triko proband ohodnotil před testem jako velmi příjemné, v průběhu testu měl mírně nepříjemný pocit, po testu své pocity označil, jako neutrální necítil diskomfort, ale ani komfort. V průběhu testu mu vadilo triko nasáklé potem.

Tab. 8 Subjektivní hodnocení testovaného bavlněného trika probandem

Subjektivní hodnocení oděvu probandem	Bavlněné triko proband č. 2				
	1	2	3	4	5
Před testem	X				
V průběhu testu				X	
Po testu			X		

V Tab. 9 je znázorněno hodnocení polyesterového trika. Na začátku testu měl proband neutrální pocity, nepocíťoval žádný diskomfort. V průběhu testu mu vadilo stékání potu po těle, ale v polyesterovém triku se cítil prý lépe než v bavlněném. Po testu měl opět neutrální pocity, necítil diskomfort, ale ani komfort.

Tab. 9 Subjektivní hodnocení testovaného polyesterového trika probandem

Subjektivní hodnocení oděvu probandem	Polyesterové triko proband č. 2				
	1	2	3	4	5
Před testem			X		
V průběhu testu			X		
Po testu			X		

Proband se prý cítil lépe v polyesterovém triku. V bavlně se sice prý cítil lépe, ale v průběhu testu mu spíše vyhovovalo triko polyesterové a proto by volil polyesterové triko.

12.3.3. Subjektivní hodnocení probanda č. 3 testujícího červená trika

Hodnocení černého bavlněného trika testovaného druhým probandem je znázorněno v Tab. 10. Před testem měl proband velmi příjemné pocity. V průběhu testu proband označil pocity za neutrální, cítil mírné ochlazení. Po ukončení testu měl příjemný pocit, triko odvedlo vlhkost od těla. Pouze konstatoval, že triko bylo sice mokré, ale on je suchý a to je pro něj důležité. Triko celkově hodnotil pozitivně, běžně bavlněná trika i používá.

Tab. 10 Subjektivní hodnocení testovaného bavlněného trika probandem

Subjektivní hodnocení oděvu probandem	Bavlnění triko proband č. 3				
	1	2	3	4	5
Před testem	X				
V průběhu testu			X		
Po testu		X			

Hodnocení polyesterového trika je znázorněno v Tab. 11. Hodnocení před testem znělo – neutrální, neměl ani příjemný ani nepříjemný pocit. V průběhu testu se začal cítit nepříjemně z důvodu stékajícího potu po těle. Po skončení testu se cítil nepříjemně, měl studený i mokrá pocit. Celkově triko hodnotil negativně, osobně by ho nenosil.

Tab. 11 Subjektivní hodnocení testovaného polyesterového trika probandem

Subjektivní hodnocení oděvu probandem	Polyesterové triko proband č. 3				
	1	2	3	4	5
Před testem			X		
V průběhu testu				X	
Po testu					X

V celkovém subjektivním hodnocení probanda č. 3 vyšlo lépe bavlněné triko. Polyesterové triko označil na nekomfortní.

12.3.4. Porovnání subjektivního hodnocení probandů

První a třetí proband bavlněné triko ohodnotili lépe než polyesterové, oba označili polyesterové triko jako nekomfortní. U polyesterového trika jim vadilo stékání potu po těle, jelikož triko ho nestačilo pohlcovat. Oproti tomu proband č. 2 se celkově cítil lépe v polyesterovém triku. U bavlněného i polyesterového trika mu sice stékalo trochu potu na těle, ale polyester byl podle něj sušší.

12.4. Porovnání výsledků měření teploty naměřených pomocí termovizní kamery a senzorů

Vzhledem k tomu, že odchylka termovizní kamery se může pohybovat $\pm 2^{\circ}\text{C}$, můžeme konstatovat, že měření pomocí termovizní kamery se výrazně neliší od měření pomocí senzorů.

Jak již bylo zmíněno na začátku praktické části diplomové práce, před samotným měřením pomocí termovizní kamery muselo předcházet určení emisivity jednotlivých materiálů, jelikož hodnoty emisivit těchto materiálu nejsou v běžně dostupných tabulkách uvedeny.

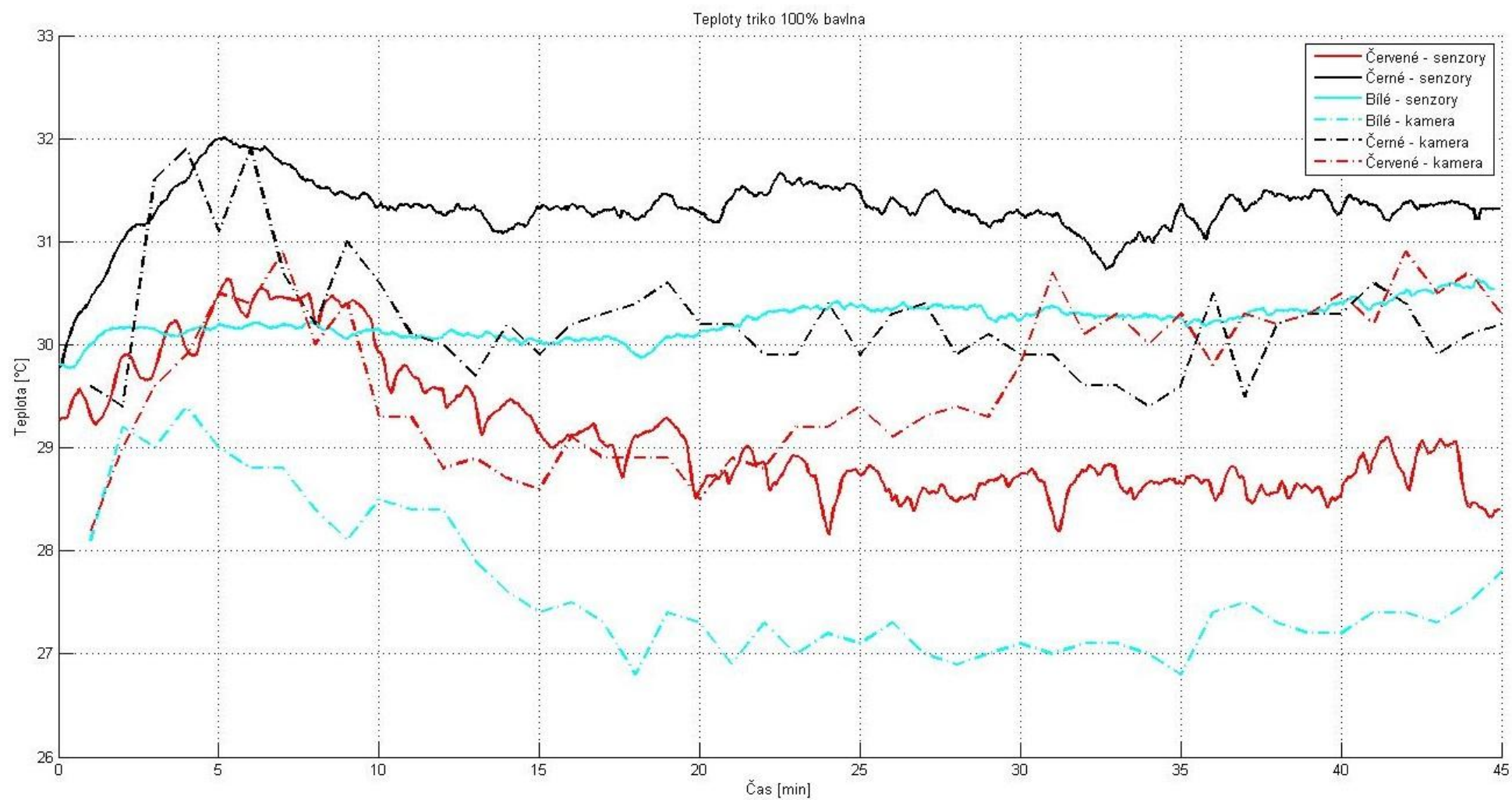
V grafech Obr 11 a 12 je znázorněno porovnání časového průběhu naměřené průměrných teplot na zadních dílech jednotlivých trik.

V grafu na Obr. 16 je znázorněno porovnání bavlněných triček. Na grafu je patrné, že u červeného a černého trika se naměřená data pomocí termovizní kamery

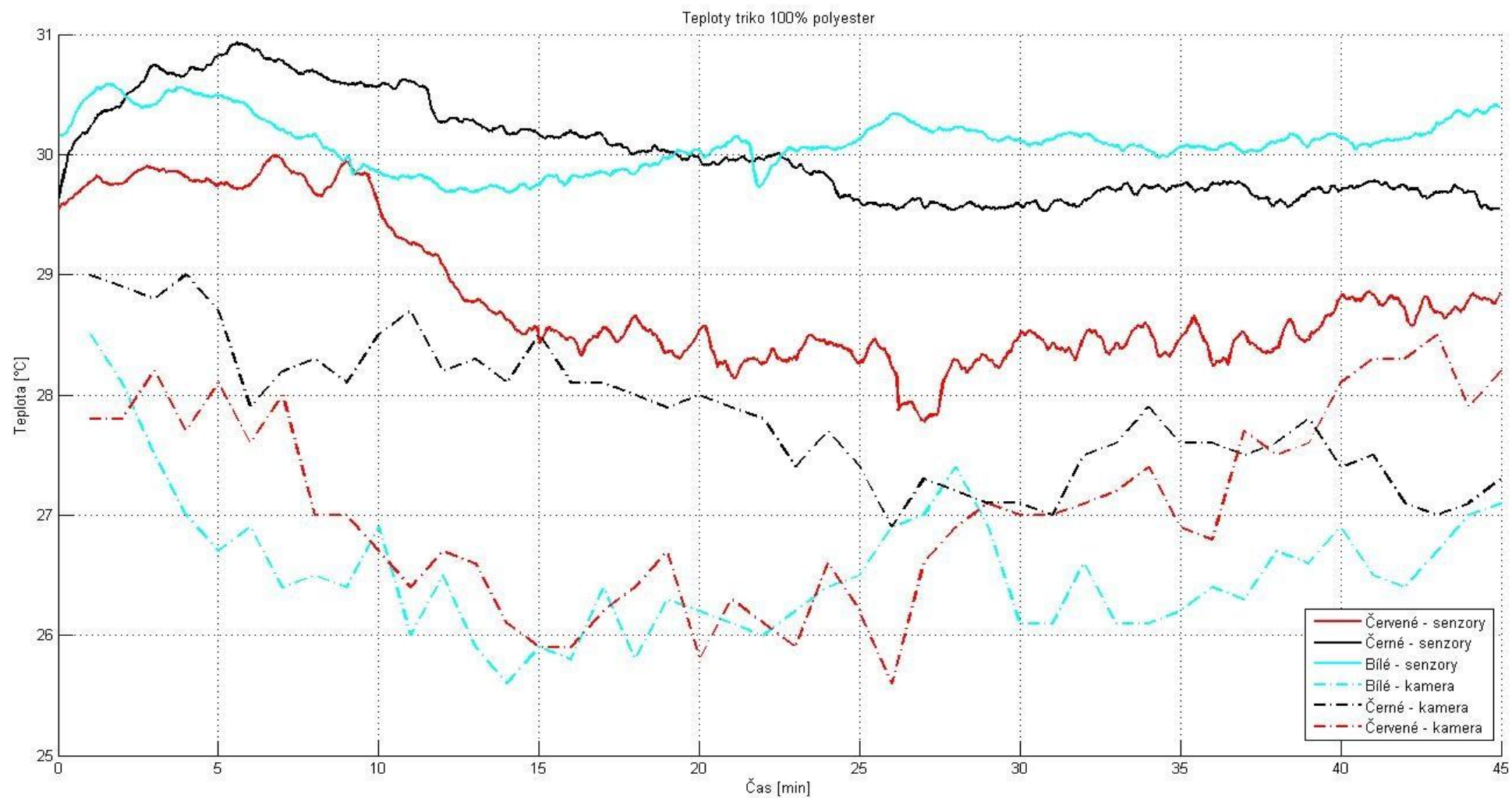
téměř kopírují, u dat získaných pomocí senzorů je rozdíl teplot zhruba $\pm 1^{\circ}\text{C}$. U bílého trika jsou patrné rozdíly. Mezi sedmou dvanáctou minutou nastal u termovizní kamery výraznější pokles teploty než u senzorů. Rozdíl mezi naměřenými hodnotami se z $1,5^{\circ}\text{C}$ zvýšil zhruba na 3°C . tento rozdíl už setrval do konce měření. Křivky ale tvarově odpovídaly.

Naměřená data polyesterového trika jsou znázorněna v grafu na Obr. 17. Je tam patrný větší teplotní rozdíl mezi naměřenými daty termovizní kamerou a senzory. U černého a červeného trika byl rozdíl zhruba 2°C . Křivky u těchto trik odpovídaly. U bílého trika nastal rozdíl místy až 4°C . V prvních pěti minutách je i patrný rozdíl v křivkách. Po páté minutě už křivky měly stejný průběh.

Důvodem rozdílných teplot naměřených u bílých trik může být špatně zvolená emisivita.



Obr. 16 Graf porovnání časového průběhu teplot naměřených termovizní kamerou a senzory u triko 100% bavlna



Obr. 17 Graf porovnání časového průběhu teplot naměřených termovizní kamerou a senzory u trik 100% polyester

12.5. Celkové porovnání výsledků subjektivního a objektivního měření

Subjektivní měření probíhalo pomocí dotazníků. Hodnocení probíhalo pomocí škály od 1 - 5.

Objektivní měření probíhalo pomocí senzorů, které byly před testem na trika přišity na předem určená místa. Sensory snímaly vlhkost a teplotu mikroklimatu. Jednalo se tedy o měření vzduchové vrstvy nacházející se mezi pokožkou a trikem.

Proband vykonával během testu fyzickou zátěž po dobu 45 minut. Zátěž spočívala v jízdě na rotopedu v klimatizované místnosti. Proband po celou dobu měření měl co nejdříve dosáhnout požadované tepové frekvence. Požadovaná tepová frekvence se pohybovala v rozmezí 70 – 75 % maximální tepové frekvence.

Bavlna má výborné absorpční vlastnosti, většinu vlhkosti nasákla do sebe. Postupně se vlhkost pomalu opářovala. K odpařování dochází pomocí výparného tepla, díky kterému dochází k ochlazení pokožky. Zatímco polyester nepohltil všechnu vlhkost. Odvod vlhkosti od těla a následné odpařování neprobíhalo dostatečně rychle. Nepohlčená vlhkost stékala probandům po zádech.

Z průběhu křivek je patrné, že u všech testovaných trik teploty mikroklimatu, po prvotním zvýšení teploty ve většině případu dosažení maxima, mají klesající tendenci. Výjimku tvořilo bílé triko. Bílé triko mělo tendenci po prvotním navýšení teploty u polyesteru tendenci mírně klesnout a následně zůstat v relativní rovině s mírným stoupáním. U bavlny po navýšení teploty křivka zůstávala v relativní rovině s mírným stoupáním bez poklesu teploty.

V linii grafu vlhkosti po dosažení svého maxima následoval pozvolný propad, který trval zhruba 5 až 10 minut a následní linie grafu u obou typů trik tvořila téměř přímku. Vlhkost u bavlny byla nižší než u polyesterových trik. K dosažení maximální vlhkosti docházelo dříve u bavlny, ale polyesterová trika dosahovala vyšší vlhkosti.

Z grafů i subjektivního hodnocení prvního a třetího probanda vyplývá, že bavlněná trika byla výrazně komfortnější než polyesterová trika. Druhý proband

za komfortnější označil polyesterové triko. Z grafů vyplývá, že polyesterové triko testované tímto probandem, bylo opravdu na předním díle teplejší.

Nepřesnosti při měření bych přisuzovala rozdílným proporcím a fyzické kondici probandů, přestože všichni testovaní probandi aktivně sportují. U termovizní kamery se k tomu mohla přidat špatně zvolená emisivita.

I přes rozdílné hodnocení jednoho z probandů v porovnání výsledků objektivního a subjektivního měření vyplývá, že bavlněná trika poskytují větší komfort svému nositeli než trika polyesterová.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo hodnocení oděvního komfortu sportovních trik senzory monitorujícími teplotu a vlhkost. Pro porovnání naměřených dat bylo provedeno měření pomocí termovizní kamery a subjektivní hodnocení pomocí dotazníku.

V teoretické části byl charakterizován oděvní komfort, který se rozděluje na termofyziologický, senzorický, ergonomický a psychologický. Vzhledem k tomu, že experimentální čas se zabývá hodnocením termofyziologického komfortu, byly v teoretické části zmapovány možné metody jeho hodnocení. Současně byly rozebrány související prostupy tepla a vlhkosti u oděvu. Z důvodu použité termovizní kamery v experimentální části je uveden úvod do termografie a s ním související emisivity.

Experimentální část diplomové práce se v úvodu zabývala stanovením emisivity materiálů jednotlivých trik. Trika byla ve dvojím materiálovém složení. 100% bavlna a 100% polyester, ve třech barevných provedeních: bílá, černá, červená. Emisivita byla stanovena pomocí termočlánku a termovizní kamery. Bílá trika měla nejnížší emisivitu. Rozdíl mezi černými a červenými triky nebyl výrazný, ale červená trika měla nižší emisivitu než černá. Bavlněná trika mají vyšší emisivitu než trika polyesterová.

Následovalo měření fyziologického komfortu pomocí senzorů a současně termovizní kamerou. Testování probíhalo pomocí tří probandů, přičemž každý testoval dvě trika stejné barvy, ale různého složení. Subjektivní hodnocení pomocí dotazníku bylo provedeno před testem a po testu. Po testu byl hodnocen i průběh testu.

Naměřená data pomocí senzorů měla velmi podobný průběh jako data naměřená pomocí termovizní kamery. Data byla pouze posunuta zhruba o 2 °C níž. Tento rozdíl ale ještě spadá do možné odchylky měření termovizní kamery ± 2 °C. Pouze bílá trika měla větší posun místa, skoro 3 °C, místy i rozdílný průběh. Tyto rozdíly u bílého trika byly u bavlněného i polyesterového trika. Mohla to způsobit špatně zvolená emisivita.

Bavlněná trika dosahovala vyšších teplot. V měření jednotlivých propadů byly rozdíly v naměřených hodnotách. Proband testující černé a červené triko měli v celku podobný průběh dat, akorát byla vůči sobě posunuta a to jak v teplotě, tak ve vlhkosti. Černá trika měla vyšší hodnoty než červená trika.

Dle mého očekávání z naměřených dat a subjektivního hodnocení probandy vyplývá, že bavlna má lepší fyziologický komfort než polyester. Bavlněná trika dosahují vyšších teplot a zároveň nižších vlhkostí. Subjektivní a objektivní hodnocení se shodovalo u dvou ze tří probandů. Proband testující černá trika označil za komfortnější polyesterové triko.

Rozdíly mezi naměřenými daty u jednotlivých trik stejného složení mohou být způsobeny rozdílnou fyzickou kondicí probandů. Jak již bylo řečeno, odchylky v měření u bílých trik mohla způsobit špatně zvolená emisivita.

Při celkovém zhodnocení měření pomocí senzorů bych měření označila jako spolehlivé a přesné. Rozdíly v měření bych přisuzovala rozdílným proporcím a fyzické kondici probandů, přestože všichni testovaní probandi aktivně sportují.

Pro objektivnější měření bych doporučila více měření u jednotlivých probandů, nebo případné využití pouze jednoho probanda k testování. Pro pohodlnější testování pomocí senzorů by bylo vhodnější testování pomocí bezdrátových senzorů.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] HES, L.; SLUKA, P.: *Úvod do komfortu textilií*. Skripta. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 80-7083-926-0.
- [2] GAVHED, D.: *Human responses to cold and wind*. Department of Physiology and Pharmacology Karolinska Institutet, Stockholm, Sweden, 2003, ISBN 91-7045-669-0; online: <http://diss.kib.ki.se/2003/91-7045-669-0/thesis.pdf>
- [3] HAVENITH, G.: *Individual Heat Stress Response*. Katholieke Universiteit Nijmegen 1997, ISBN 90-9010979-X online: http://dare.ubn.kun.nl/bitstream/2066/18586/1/18586_indihestr.pdf
- [4] HALASOVÁ, A.: *Vybrané kapitoly z fyziologie odívání*. Skripta. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2004
- [5] HAVELKA, A.: *The physiological properties of sports apparel made from barrier textile*. TEXTILE SCIENCE 2007, TUL Liberec
- [6] HAVELKA, A; Halasová, A; Dvořák J.: *The heat and moisture transport through clothing material*. TEXTILE SCIENCE 2007, TUL Liberec
- [7] HAVELKA, A.; Kůs, Z.: *The Physiological Properties of Smart Textiles and Moisture Transport through Clothing Fabrics*. Thermal Manikins and Modelling, The Hon Kong Polytechnic University, 2006, ISBN: 962-367-534-8
- [8] HORNÍČEK, P.: *Odvod vlhkosti a tepla z povrchu lidského těla*. Technická univerzita v Liberci, 2002
- [9] RŮŽIČKOVÁ, D.: *Oděvní materiály*. Skripta. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2003
- [10] ŠESTÁK, J.; REIGER, F.: *Přenos hybnosti, tepla a hmoty*. ČVUT, Praha, 2005
- [11] KOČÁRKOVÁ, J.: *Na TUL měří komfortní vlastnosti textilií* [on-line]. [cit. 17. 01. 2013] Dostupné na internetu <http://tuni.tul.cz/gf/print.php?id=eDM0ODE=x>
- [12] BARTELS, V., T.: *Improving comfort in sports and leisure wear*. Improving comfort in clothing, Woodhead Publishing Limited, 2011

- [13] *Termografie* [on-line]. [cit. 17. 01. 2013] Dostupné na internetu <http://cs.wikipedia.org/wiki/Termografie>
- [14] *Termografie* [on-line]. [cit. 17. 01. 2013] Dostupné na internetu <http://www.vvud.cz/laboratore/termografie>
- [15] *Planckův vyzařovací zákon* [on-line]. [cit. 17. 01. 2013] Dostupné na internetu http://cs.wikipedia.org/wiki/Planck%C5%AFv_vyza%C5%99ovac%C3%AD_z%C3%A1kon
- [16] *Wienův posunovací zákon* [on-line]. [cit. 17. 01. 2013] Dostupné na internetu http://cs.wikipedia.org/wiki/Wien%C5%AFv_posunovac%C3%AD_z%C3%A1kon
- [17] *Stefanův.Boltzmannův zákon* [on-line]. [cit. 17. 01. 2013] Dostupné na internetu http://cs.wikipedia.org/wiki/Stefan%C5%AFv-Boltzmann%C5%AFv_z%C3%A1kon
- [18] SHINJUNG, Y.: EUNAE, K.: *Wear trial assessment of layer structure effects on vapor permeability and condensation in a cold weather clothing ensemble* [on-line]. [cit. 17. 01. 2013] Dostupné na internetu: <http://trj.sagepub.com/content/82/11/1079.full.pdf+html>
- [17] FLEGLOVÁ, Z.: *SKIN – MODEL*, Liberec, Technická univerzita v Liberci, Katedra oděvnictví, [on-line]. [cit. 17. 01. 2013] Dostupné na internetu: http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/cvi%C4%8Den%C3%AD/SKIN_MODEL1.pdf
- [18] SATORU, U.: SHIN-ICHI S.: *Correction of the evaporative resistance of clothing by the temperature of skin fabric on a sweating and walking thermal manikin* [on-line]. [cit. 17. 01. 2013] Dostupné na internetu: <http://intl-trj.sagepub.com/content/early/2011/11/17/0040517511427966.full.pdf+html>
- [19] Termovize modelové infrasnímky [on-line]. [cit. 17. 01. 2013] Dostupné na internetu: <http://www.termovize-zpk.cz/termovize-modelove-infrasnimky>
- [20] Termovizní měření ve stavebnictví. [on-line]. [cit. 17. 01. 2013] Dostupné na internetu: <http://www.termovize-mereni.cz/?action=stavebnictvi>

- [21] VODIČKA: *Termovizní měření v elektrotechnice* [on-line]. [cit. 17. 01. 2013]
Dostupné na internetu http://www.itiv.cz/cl_sou/eletrika.pdf
- [22] Termovize v průmyslu: [on-line]. [cit. 17. 01. 2013] Dostupné na internetu: <http://www.emctesting.cz/termovize-prumysl.php>
- [23] Termovize v průmyslu [on-line]. [cit. 17. 01. 2013] Dostupné na internetu: <http://www.pro-pasiv.cz/diagnostika/termovize-v-prumyslu/>
- [24] Galerie termoobrazů, [on-line]. [cit. 17. 01. 2013] Dostupné na internetu: <http://www.termoobraz.cz/gallery.html>
- [25] Vrtulník hledal muže se sklony k sebevraždě, [on-line]. [cit. 17. 01. 2013]
Dostupné na internetu: <http://kladenskelisty.cz/71078/vrtulnik-hledal-muze-se-sklony-k-sebevrazde/>
- [26] Zapálili jsme dřevostavbu. Oheň ji ale nespálil. Požár na vlastní oči: [on-line]. [cit. 17. 01. 2013] Dostupné na internetu: http://bydleni.idnes.cz/zapalili-jsme-drevostavbu-ohen-ji-ale-nespalil-pozar-na-vlastni-oci-1pi-stavba.aspx?c=A090624_162837_stavba_rez
- [27] Termovize ve výzkumu [on-line]. [cit. 17. 01. 2013] Dostupné na internetu: <http://www.termovize-mereni.cz/?action=vyzkum>
- [28] Emisivita, [on-line]. [cit. 17. 01. 2013] Dostupné na internetu: <http://www.termoobraz.cz/emisivita.html>
- [29] Emisivita, [on-line]. [cit. 17. 01. 2013] Dostupné na internetu: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Emisivita>
- [30] Termovize [on-line]. [cit. 17. 01. 2013] Dostupné na internetu: <http://www.pro-pasiv.cz/diagnostika/termovize1/>
- [29] Emisivity, [on-line]. [cit. 17. 01. 2013] Dostupné na internetu: http://www.infrazareni.wz.cz/92_bezdotykovye/emivity.htm
- [30] Tepová frekvence – barometr správného tréninku, [on-line]. [cit. 27. 04. 2013]
Dostupné na internetu: <http://www.sportvital.cz/sport/trenink/tepova-frekvence-barometr-spravneho-treninku/>

- [31] Suunto t6d, [on-line]. [cit. 27. 04. 2013] Dostupné na internetu: <http://www.suunto-sports.cz/index.php?typ=UUA&showid=18&shopid=102698636>
- [32] SHT21 humidity sensor features improved temperature specs, [on-line]. [cit. 28. 04. 2013] Dostupné na internetu <http://www.qmed.com/news/supplier/sht21-humidity-sensor-features-improved-temperature-specs>
- [33] Medium-range contactless data transfer of temperature and humidity from an overall, [on-line]. [cit. 17. 01. 2013] Dostupné na internetu <http://www.kch.tul.cz/publications/sb18.pdf>
- [34] BARTELS, V., T., *Improving comfort in sports and leisure wear*, Improving komfort in clothing, Woodhead Publishing Limited 2011
- [35] SA1 SERIES, [on-line]. [cit. 27. 04. 2013] Dostupné na internetu http://www.omegaeng.cz/ppt/pptsc_lg.asp?ref=SA1&Nav=
- [36] KRYSLOVÁ, S.: *Teoretické základy bezdotykového měření*, TUL Liberec, 2010 [on-line]. [cit. 17. 01. 2013] Dostupné na internetu <http://www.kod.tul.cz/predmety/STE/cviceni/Teoretick%C3%A9%20z%C3%A1klady%20bezdotykov%C3%A9ho%20m%C4%9B%C5%99en%C3%AD.pdf>
- [37] FERRI, A.; CORBELLINI, S.; PARVIS, M.; SPENDORE, R.: *Compact RF Sensors for Monitoring Thermo-physiological Comfort of Sportswear* [on-line]. [cit. 17. 01. 2013] Dostupné na internetu: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5487992&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F5480448%2F5487988%2F05487992.pdf%3Farnumber%3D5487992>
- [38] KLÍMOVÁ, E.: *Permetest*, TUL Liberec, 2008 [on-line]. [cit. 17. 01. 2013] Dostupné na internetu: <http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/cvi%C4%8Den%C3%AD/PERMETEST.pdf>
- [39] Pánská /Unisex trička: [on-line]. [cit. 17. 01. 2013] Dostupné na internetu: <http://www.xfer.cz/tricka/panska-detska-unisex/>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Q_{to}	tvorba tepla v organismu [$J.s^{-1}$],
Q_{tz}	vnější tepelné záření [$J.s^{-1}$],
Q_s	tepelné ztráty sáláním [$J.s^{-1}$],
Q_{pr}	tepelné ztráty prouděním [$J.s^{-1}$],
Q_v	tepelné ztráty vedením [$J.s^{-1}$],
Q_o	tepelné ztráty v důsledku odpařování difúzní vlhkosti z povrchu pokožky [$J.s^{-1}$],
Q_d	tepelné ztráty z důvodu odpařování vlhkosti z horních cest dýchacích [$J.s^{-1}$],
Q_p	tepelné ztráty odpařováním potu [$J.s^{-1}$],
Q_{ov}	tepelné ztráty na ohřev vydechovaného vzduchu [$J.s^{-1}$],
ΔQ	změna tepelného stavu organismu proti stavu tepelné pohody – deficit tepla [$J.s^{-1}$],
Q_{ved}	množství tepla [J], které projde stěnou o ploše S [m^2] za dobu τ [s], [$J.s^{-1}=W$]
λ	součinitel tepelné vodivosti soustavy vrstev oděvu [$W.m^{-2}.K^{-1}$]
T_1	teplota vnitřní strany první oděvní vrstvy [K]
T_2	teplota vnější (studené) strany poslední vrstvy oděvu [K]
δ	tloušťka soustavy vrstev oděvu [m]
R	tepelný odpor [$m^2.K/W$]
λ	tepelná vodivost [$W/m . K$]
R_{CL}	celkový tepelný odpor oděvu [$m^2.K/W$]
d	charakteristický rozměr objektu [m]
ν	dynamická viskozita tekutiny [m^2/s]
Re	Reynoldsovo číslo [-]
\dot{Q}_{pr}	množství tepelného toku sdíleného prouděním [W]
α_{pr}	součinitel konvekce [$W.m^{-2}.K^{-1}$]
S	povrch těla [m^2]
T_o	teplota povrchu těla – oděvu [K]
T_v	teplota vzduchu [K]
α_s	součinitel sdílení tepla sáláním – radiací tepla [$W.m^{-2}.K^{-1}$]
S_s	povrch těla, z něhož teplo sálá [m^2]

T_t	teplota povrchu okolních těles [K]
\dot{Q}_s	množství tepelného toku sdíleného sáláním [W]
P_k	parciální tlak vodních par kůže [Pa]
P_o	parciální tlak vodních par okolí [Pa]
\dot{Q}_{od}	množství tepelného toku sdíleného odpařováním [W]
p_a	parciální tlak par v okolním vzduchu [Pa]
$t_{kuže}$	teplota kůže [°C]
S	plocha [m ²]
m^*	množství páry [kg/m ² s]
D_P	difúzní koeficient [kg/m.s.Pa]
$\Delta p_{\text{parc}} / \Delta x$	gradientu parciálního tlaku
p_{WSAT}	nasycený parciální tlak [Pa]
p_{WE}	parciální tlak v okolním prostředí [Pa]
h	tloušťka materiálu [m]
ΔP	kapilární tlak [Pa]
R	efektivní poloměr velkých pórů [μm]
R	efektivní poloměr malých pórů [μm]
γ	povrchové napětí vody [10 ⁻³ N/m]
Θ	kontaktní úhel [°]
P	zvětšení vnitřního povrchu kapilárních kanálů
q_o	plošná hustota tepelného toku procházející měřicí hlavici nezakrytou měřeným vzorkem [W/m ²]
q_v	plošná hustota tepelného toku procházející měřicí hlavici zakrytou měřeným vzorkem [W/m ²]
R_{ct}	tepelný odpor vzorku [m ² .K/W]
R_{et}	výparný odpor vzorku [m ² .Pa/W]
φ	relativní vlhkost vzduchu [%]
t_m	teplota povrchu měřicí hlavice [°C]
t_a	teplota vzduchu proudícího kanálem podél měřicí hlavice [°C]
P_m	nasycený parciální tlak vodní páry na povrchu měřicí hlavice [Pa]
P_a	parciální tlak vodní páry ve vzduchu ve zkušebním prostoru při teplotě vzduchu ve zkušebním prostoru [Pa]
P_{rel}	relativní propustnost pro vodní páry [%]
G_0	vážení misky se vzorkem před expozici [g]

G_1	vážení misky se vzorkem po šestihodinové expozici [g]
I	intenzita záření [rad.s^{-1}]
ω	úhlová frekvence záření [W]
T	teplota absolutně černého tělesa [K]
h	Planckova konstanta [$h= 6.626.10^{-34}\text{W}$]
c	rychlost světla [$2.998.10^8\text{m.s}^{-1}$]
k	Boltzmannova konstanta [$k=1.3806.10^{-23}\text{J.K}^{-1}$]
λ_{max}	vlnová délka maxima vyzařování [mm]
T	teplotu tělesa [K]
b	Wienova konstanta [$b = 2, 897\,756.10^{-3} \text{ m .K}$].
ε	emisivita (vyzáření záření) [-]
ρ	reflexe (odražené záření) [-]
T	transmise (propuštění záření) [-]
ε_v	spektrální emisivita
α_v	spektrální pohltivost
I	celková intenzita vyzařování [W.m^{-2}]
σ	Stefan-Boltzmannova konstanta [$\sigma= 5,67.10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$]
T	termodynamická teplota [K]
H_{EO}	energie vyzařovaná absolutně černým tělesem
H_{E}	vyzařovaná energie

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1	Názorné zobrazení tepelné rovnováhy [12]:.....	14
Obr. 2	Procentuální znázornění tepelných ztrát organismu [8]	17
Obr. 3	Schéma přístroje PERMETEST [1].....	29
Obr. 4	Schéma přístroje Alambeta [1]	32
Obr. 5	Termočlánek SA1	41
Obr. 6	Termovizní kamera Therma Cam TM S60 [36]	42
Obr. 7	Textilní hrudní pás Comfort Dual Belt pro měření tepové frekvence a hodinky Suunto t6d [31]	44
Obr. 8	Senzor SHT21 a kapsička na senzor z Neoshellu.....	44
Obr. 9	Umístění čidel na triku	45
Obr. 10	Snímek vyfocení termovizní kamerou s vyznačenou sledovanou oblastí v programu ThermaCAM TM	46
Obr. 11	Graf průběhu naměřených průměrných teplot u jednotlivých trik na předním díle	50
Obr. 12	Graf průběhu naměřených průměrných teplot u jednotlivých trik na zadním díle	51
Obr. 13	Graf průběhu naměřených průměrných vlhkostí u jednotlivých trik na předním díle	52
Obr. 14	Graf průběhu naměřených průměrných vlhkostí u jednotlivých trik na zadním díle	53
Obr. 15	Graf průběhu naměřených průměrných teplot termovizní kamerou u jednotlivých trik.....	55
Obr. 16	Graf porovnání časového průběhu teplot naměřených termovizní kamerou a senzory u trik 100% bavlna	61
Obr. 17	Graf porovnání časového průběhu teplot naměřených termovizní kamerou a senzory u trik 100% polyester	62

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Přehled použitých materiálů	40
Tab. 2 Výsledné hodnoty emisivity jednotlivých triček.....	41
Tab. 3 Základní údaje o probandech	43
Tab. 4 Průměrná data získaná pomocí senzorů	48
Tab. 5 Průměrné hodnoty z měření termovizní kamerou	54
Tab. 6 Subjektivní hodnocení testovaného bavlněného trika probandem	56
Tab. 7 Subjektivní hodnocení testovaného polyesterového trika probandem	57
Tab. 8 Subjektivní hodnocení testovaného bavlněného trika probandem	57
Tab. 9 Subjektivní hodnocení testovaného polyesterového trika probandem	58
Tab. 10 Subjektivní hodnocení testovaného bavlněného trika probandem	58
Tab. 11 Subjektivní hodnocení testovaného polyesterového trika probandem ..	59

SEZNAM PŘÍLOH

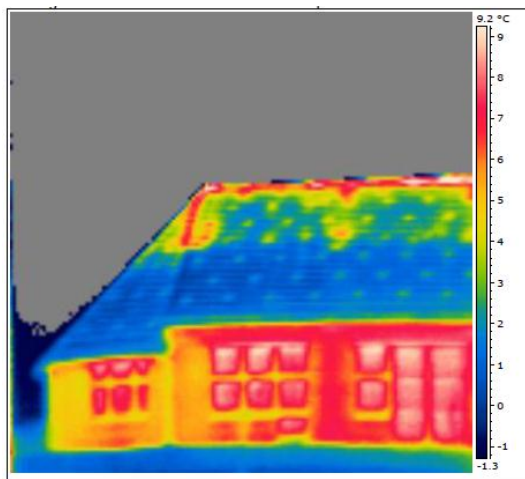
- I. Použití termovizního měření
- II. Přehled použitých sportovních triček
- III. Naměřené hodnoty při měření emisivity
- IV. Parametry termovizní kamery [36]
- V. Hodnoty teploty a vlhkosti v klimatizované místnosti během jednotlivých měření
- VI. Rozmístění senzorů na trikách
- VII. Obrázky k měřicí jednotce (DECT moduly) a aplikace HUMITEM
- VIII. Obrázky z programu ThermoCAMTM Researcher - histogram teplot ve sledované oblasti a časový průběh průměrných teplot
- IX. Tabulka použitých senzorů při měření teploty a vlhkosti
- X. Tabulka hodnot z jednotlivých měření teploty a vlhkost pomocí senzorů
- XI. Grafy z měření teploty a vlhkost pomocí senzorů
- XII. Tabulky s údaji získaných pomocí měření termovizní kamery

PŘÍLOHY

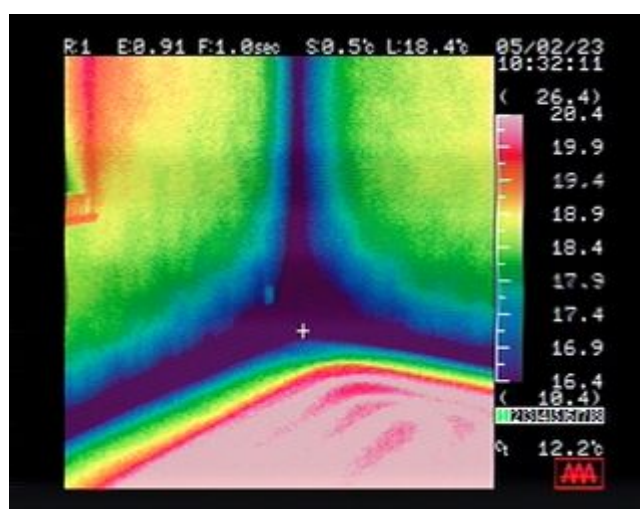
I. Použití termovizního měření

Použití termovizního měření ve stavebnictví

Ve stavebnictví se měření termovizní kamerou využívá především k detekci tepelných ztrát. Odhalí místa s největším únikem tepla špatnou izolací, závadami na obvodovém plášti staveb, konstrukčních vad budov a nalezení problémů s instalacemi. Dále se používá k detekci míst s vysokým rizikem kondenzace vody a růstu plísní, tepelných mostů, úniku tepla u poškozeného těsnění u oken, poškození teplovodního vedení a podlahového topení.



Obrázek I Vzduchová netěsnost střešního pláště [19]



Obrázek II Novostavba obytného domu s podlahovým topením. Obvodové zdi s chybně provedenou tepelnou izolací [20]

Použití termovizního měření v elektronice

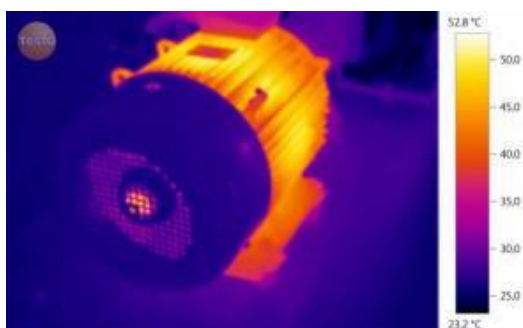
Pomocí této metody se dají odhalit začínající závady na elektrickém zařízení při výrobě, přenosu a distribuci elektrické energie. Velkou výhodou je umožnění kontroly bez odstávky, což má velký vliv na ekonomiku provozu[21].



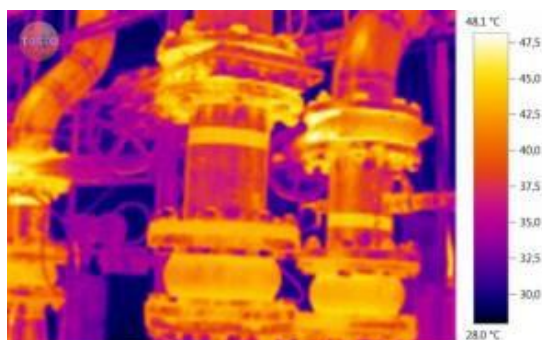
Obrázek III Termovize při kontrole a revizi elektrických rozvodů [22]

Použití termovizního měření v průmyslových aplikacích

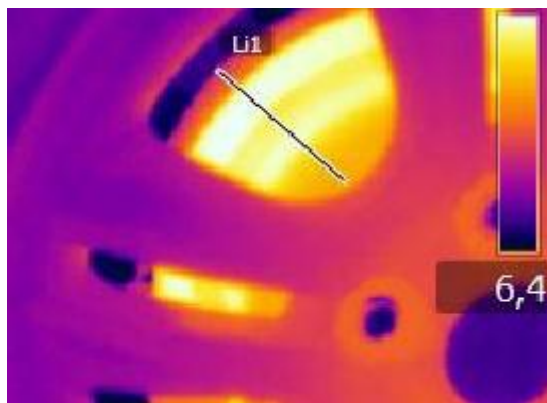
Termovizní měření v průmyslu je velice užitečnou metodou. Stejně jako při využití v elektronice se dá použít bez zastavení provozu jako preventivní opatření, nebo může odhalit nedostatky ještě před vstupem do výroby. Toto měření se využívá k měření teploty motorů, ložisek, převodovek za provozu, ke kontrole technologických procesů při obrábění, svařování, ve slévárenství a lisování.



Obrázek IV Termovizní měření motoru [23]



Obrázek V Termovizní měření armatury [23]



Obrázek VI Mechanické závady strojů, zvýšené tření vadný brzdíč zadního kola automobilu [24]

Použití termovizního měření pro vojenské, policejní a hasičské účely

V těchto oblastech se termovize využívá k detekci pohybu osob a k nočnímu vidění. Termovizní kamera je schopna proniknout mlhou, kouřem.



Obrázek VII Použití termovize při hledání ztracené osoby [25]



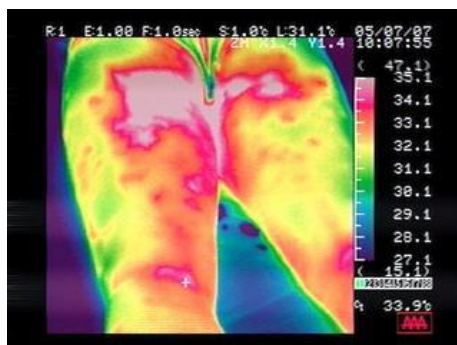
Obrázek VIII Použití termovize při záznamu požáru dřevěné budovy [26]



Obrázek IX Detekce pohybu osob v zabezpečených objektech, noční vidění identifikace narušitele [24]

Použití termovizního měření ve výzkumu, vývoji a zdravotnictví

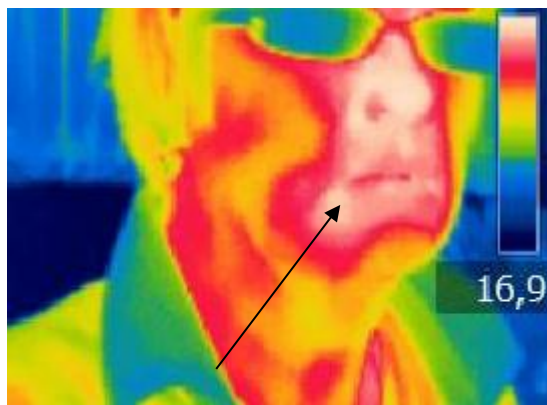
Díky termoviznímu měření lze zjistit stav tělních orgánů (Obr. X, XI), pomocí měření termovize na rozdíl od konvekčního měření teploty je možno získat velký rozsah teplotní stupnice, největší výhodou je měření teploty současně v celém rastru zorného pole.



Obrázek X Termovizní snímek stehen [27]









Obrázek XI Termovizní snímek ruky [27]



Obrázek XII Neinvazivní detekce zánětů a nádorů pod kůží. Zánět dásně [24]

II. Přehled použitých sportovních triček

Značka trika	Roly	Roly	Roly
Materiálové složení	100% bavlna	100% bavlna	100% bavlna
Název trika	BASIC 6555 Promocional	BASIC 6555 Promocional	BASIC 6555 Promocional
Barva	bílá	černá	červená
Druh	Jednolícni pletenina	Jednolícni pletenina	Jednolícni pletenina
Plošná hmotnost [g/m ²]	150 g/m ²	150 g/m ²	150 g/m ²
Údržba			
Popis	Pánské triko s krátkým rukávem, průkrčník je tvořen kulatým lemem. Triko je bočních švů. Dvojitě prošití u krku, ramenou spodního okraje.	Pánské triko s krátkým rukávem, průkrčník je tvořen kulatým lemem. Triko je bočních švů. Dvojitě prošití u krku, ramenou spodního okraje.	Pánské triko s krátkým rukávem, průkrčník je tvořen kulatým lemem. Triko je bočních švů. Dvojitě prošití u krku, ramenou spodního okraje.
Výrobek	 [39]	 [39]	 [39]
Vzorek			

Značka trika	Roly	Roly	Roly
Materiálové složení	100% polyester	100% polyester	100% polyester
Název trika	SPORTS 0425 Montecarlo	SPORTS 0425 Montecarlo	SPORTS 0425 Montecarlo
Barva	bílá	černá	červená
Druh	Obouliční pletenina	Obouliční pletenina	Obouliční pletenina
Plošná hmotnost [g/m²]	150 g/m ²	150 g/m ²	150 g/m ²
Údržba			
Popis	Pánské triko s krátkým raglánovým rukávem, průkrčník je tvořen kulatým lemem. Triko s bočními švy. Dvojitě prošití u krku, ramenou spodního okraje.	Pánské triko s krátkým raglánovým rukávem, průkrčník je tvořen kulatým lemem. Triko s bočními švy. Dvojitě prošití u krku, ramenou spodního okraje.	Pánské triko s krátkým raglánovým rukávem, průkrčník je tvořen kulatým lemem. Triko s bočními švy. Dvojitě prošití u krku, ramenou spodního okraje.
Výrobek	 [39]	 [39]	 [39]
Vzorek			

III. Naměřené hodnoty při měření emisivity

		Měření	Teplota termočlánku v rubu	Teplota termočlánku na líci	Emisivita
Bavlna	Bílé triko	Měření 1	20,0 °C	20,0 °C	0,80
		Měření 2	20,6	20,5	0,80
		Měření 3	20,2 °C	20,2 °C	0,80
	Černé triko	Měření 1	20,7 °C	20,7 °C	0,84
		Měření 2	20,3 °C	20,2 °C	0,84
		Měření 3	20,1 °C	20,1 °C	0,84
	Červené triko	Měření 1	20,6 °C	20,7 °C	0,83
		Měření 2	20,9 °C	20,9 °C	0,83
		Měření 3	20,1 °C	20,2 °C	0,83
Polyester	Bílé triko	Měření 1	20,5 °C	20,5 °C	0,78
		Měření 2	20,1 °C	20,2 °C	0,78
		Měření 3	20,3 °C	20,3 °C	0,78
	Černé triko	Měření 1	21,2 °C	21,3 °C	0,83
		Měření 2	21,0 °C	21,0 °C	0,83
		Měření 3	20,9 °C	20,8 °C	0,83
	Červené triko	Měření 1	20,1 °C	20,2 °C	0,82
		Měření 2	20,7 °C	20,7 °C	0,82
		Měření 3	20,7 °C	20,6 °C	0,82

IV. Parametry termovizní kamery [36]

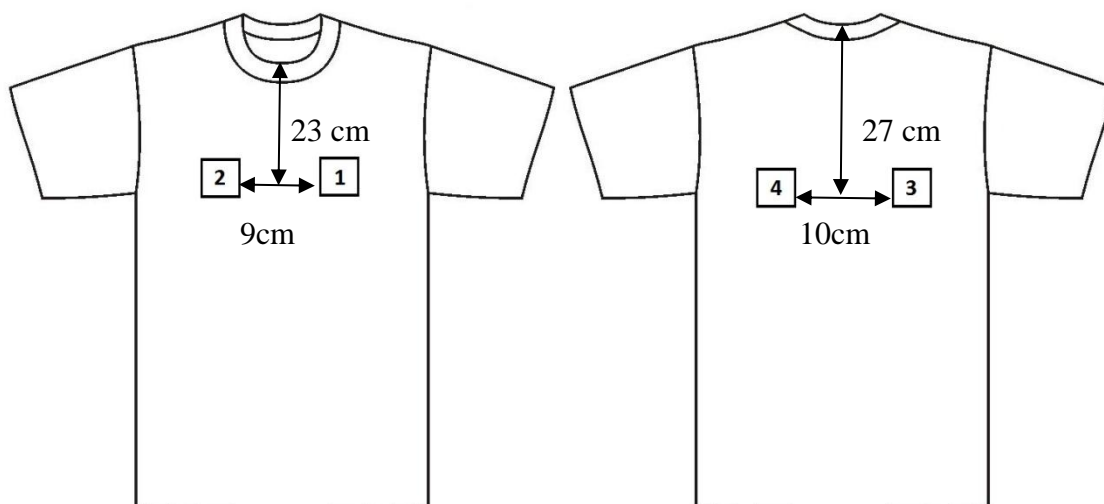
- hmotnost: 2 kg včetně baterie a dálkového ovládání
- rozměry: 234 x 124 x 161 mm
- zorné pole/min. ohnisková vzdálenost: 24° x 18°/0,3m
- zobrazovací frekvence: 50-60 Hz
- spektrální rozsah detektoru: 7.5 – 13 μm
- rozlišení detektoru: 320 x 240 pixelů
- teplotní rozsahy: -40°C ÷ +120°C
 0°C ÷ +500°C
 +350°C ÷ +1500°C
- přesnost $\pm 2^\circ\text{C}$ nebo $\pm 2\%$ z teploty v $^\circ\text{C}$
- laser: polovodičový diodový AlGaInP

V. Hodnoty teploty a vlhkosti v klimatizované místnosti během jednotlivých měření

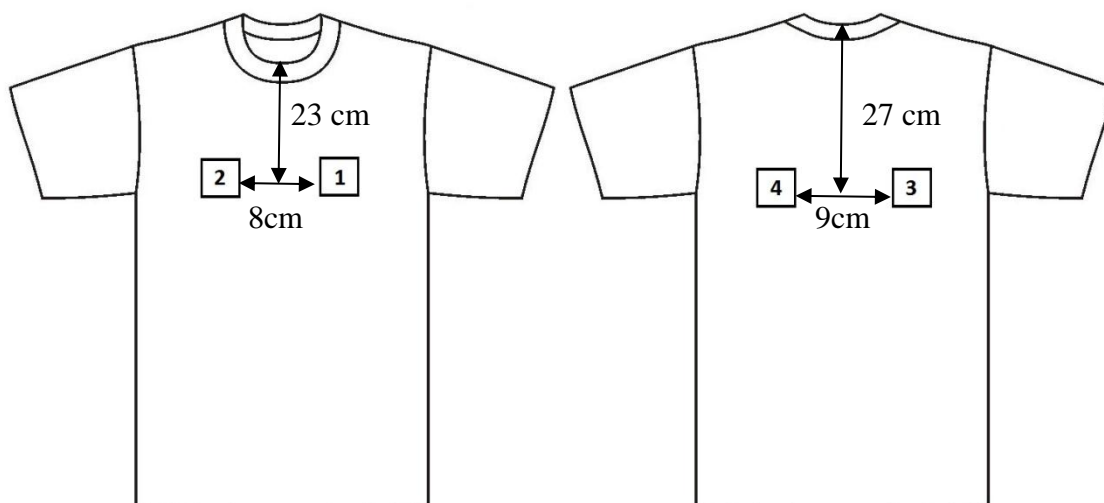
Datum měření	Čas začátku měření	Teplota	Relativní vlhkost
25.03.2013	09:30	21,1 °C	60 %
26.03.2013	09:30	21,2 °C	55 %
26.03.2013	10:30	21,2 °C	55 %
27.03.2013	09:30	21,9 °C	60 %
27.03.2013	11:30	21,0 °C	56 %
02.04.2013	08:30	20,9 °C	64 %
02.04.2013	09:30	21,1 °C	64 %
04.04.2013	08:30	21,4 °C	58 %
05.04.2013	11:30	21,1 °C	60 %
08.04.2013	08:30	21,6 °C	56 %
08.04.2013	10:30	21,3 °C	56 %
09.04.2013	08:30	21,1 °C	66 %
10.04.2013	11:30	21,4 °C	66 %
11.04.2013	10:30	21,9 °C	66 %
12.04.2013	11:30	21,4 °C	66 %
15.04.2013	08:30	21,2 °C	56 %
15.04.2013	10:30	21,2 °C	59 %
16.04.2013	08:30	21,4 °C	59 %
Průměrná teplota v klimatizované místnosti			21,3 °C
Průměrná relativní vlhkost v klimatizované místnosti			60%

VI. Rozmístění senzorů na trikách

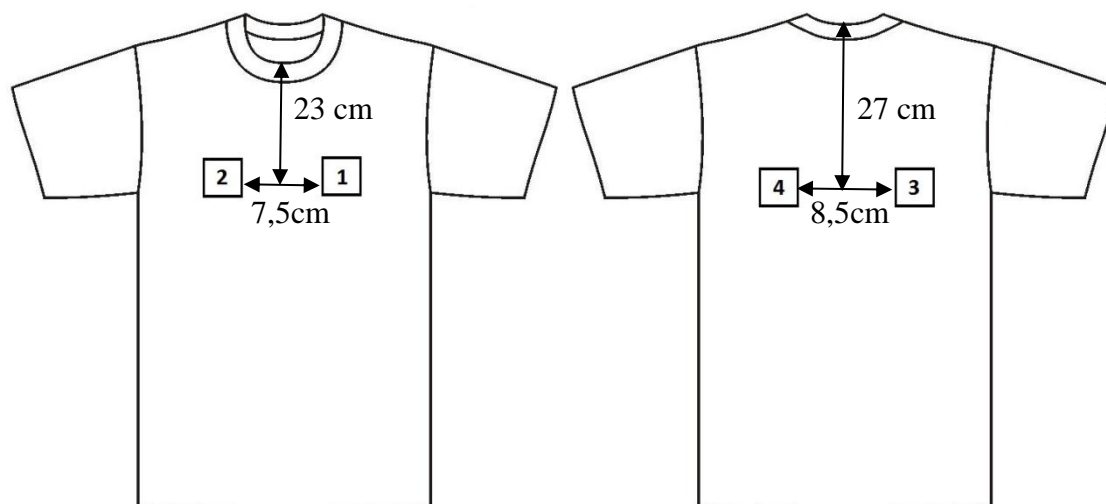
Rozmístění senzorů na triku velikosti XL



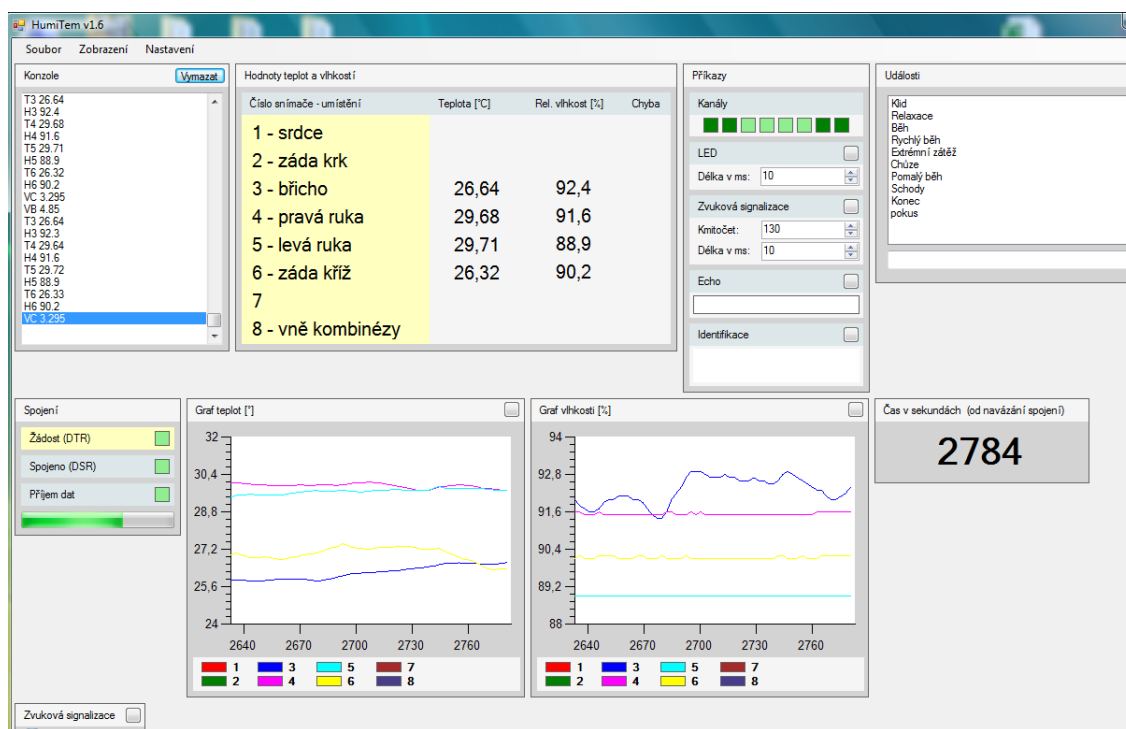
Rozmístění senzorů na triku velikosti L



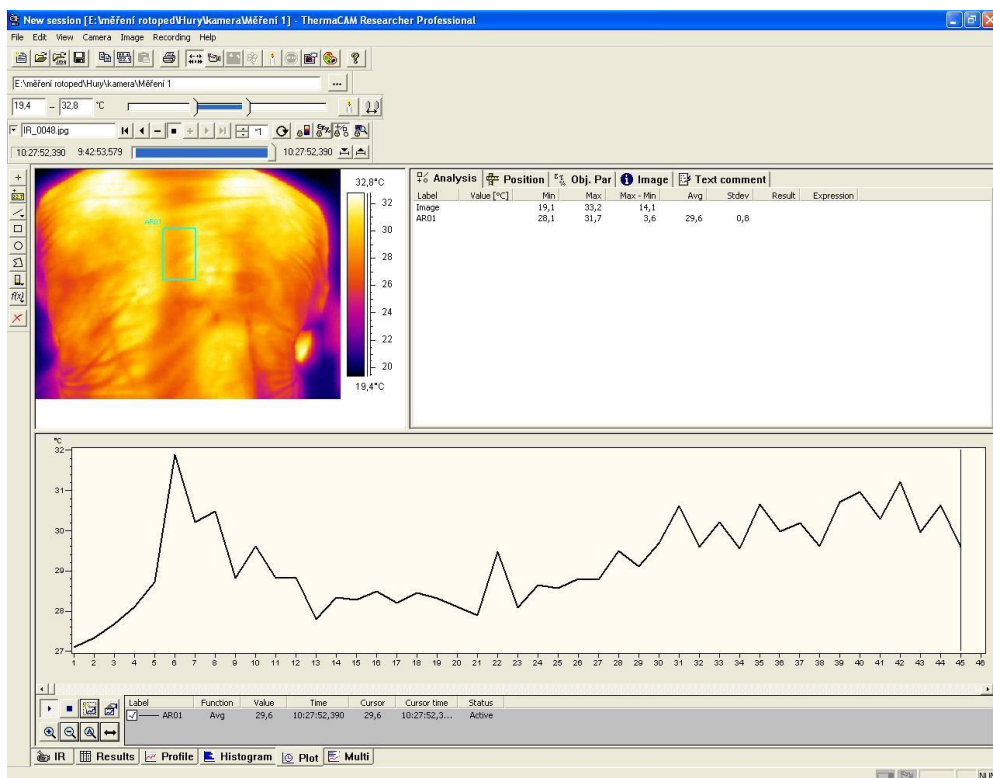
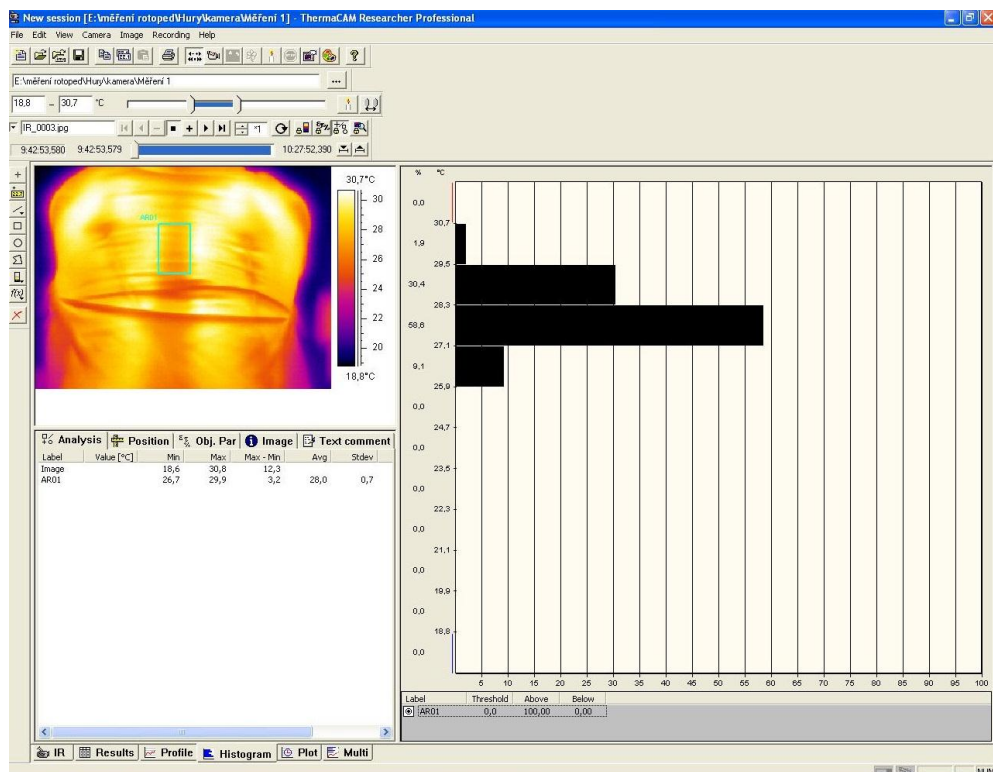
Rozmístění senzorů na triku velikosti M



VII. Obrázky k měřicí jednotce (DECT moduly) a aplikace HUMITEM



VIII. Obrázky z programu ThermoCAMTM Researcher - histogram teplot ve sledované oblasti a časový průběh průměrných teplot



IX. Tabulka použitých senzorů při měření teplota a vlhkosti

Použitá čidla pro jednotlivá měření			Čidla					
			1	2	3	4	5	6
Bavlna	Bílé triko	Měření č. 1		X	X	X	X	
		Měření č. 2	X		X	X	X	
		Měření č. 3			X	X	X	X
	Černé triko	Měření č. 1	X		X	X	X	
		Měření č. 2			X	X	X	X
		Měření č. 3			X	X	X	X
	Červené triko	Měření č. 1		X	X	X	X	
		Měření č. 2		X	X	X	X	
		Měření č. 3			X	X	X	X
Polyester	Bílé triko	Měření č. 1		X	X	X	X	
		Měření č. 2		X	X	X	X	
		Měření č. 3			X	X	X	X
	Černé triko	Měření č. 1		X	X	X	X	
		Měření č. 2	X		X	X	X	
		Měření č. 3			X	X	X	X
	Červené triko	Měření č. 1		X	X	X	X	
		Měření č. 2	X		X	X	X	
		Měření č. 3			X	X	X	X

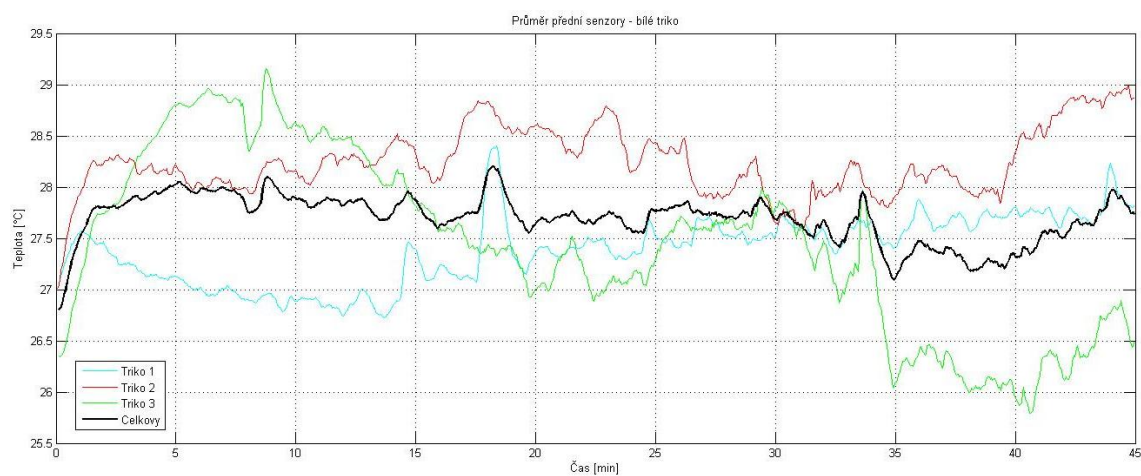
X. Tabulka hodnot z jednotlivých měření teploty a vlhkost pomocí senzorů

Hodnocení předního dílu			Průměrná teplota [°C]		Vlhkost [%]		Čas [min]	
			Max	Min	Max	Min	Max	Min
Bavlna	Bílé triko	Měření č. 1	28,41	26,73	99,10	68,15	18,38	13,68
		Měření č. 2	29,00	27,00	98,45	60,70	44,69	0,00
		Měření č. 3	29,16	25,79	95,60	58,85	8,76	40,60
	Černé triko	Měření č. 1	28,88	26,61	98,55	65,65	4,92	29,59
		Měření č. 2	29,80	26,48	99,00	62,80	20,19	30,72
		Měření č. 3	30,70	28,03	99,05	47,30	4,70	44,26
	Červené triko	Měření č. 1	29,77	25,63	96,80	39,85	9,10	28,96
		Měření č. 2	30,58	26,31	96,25	46,70	6,77	44,91
		Měření č. 3	32,24	29,74	97,75	49,55	4,27	18,90
Polyester	Bílé triko	Měření č. 1	28,97	25,26	98,6	59,75	1,51	20,26
		Měření č. 2	30,22	26,15	97,00	61,40	3,71	35,63
		Měření č. 3	29,45	27,86	94,90	67,80	1,94	0,13
	Černé triko	Měření č. 1	29,74	27,34	98,85	50,20	3,19	36,32
		Měření č. 2	30,30	27,37	98,65	46,00	11,48	30,85
		Měření č. 3	31,86	28,56	98,65	81,00	11,13	0,13
	Červené triko	Měření č. 1	27,83	24,34	97,55	47,25	2,11	22,00
		Měření č. 2	29,42	26,15	98,45	56,00	21,79	44,27
		Měření č. 3	29,63	25,52	98,40	41,80	8,42	29,99

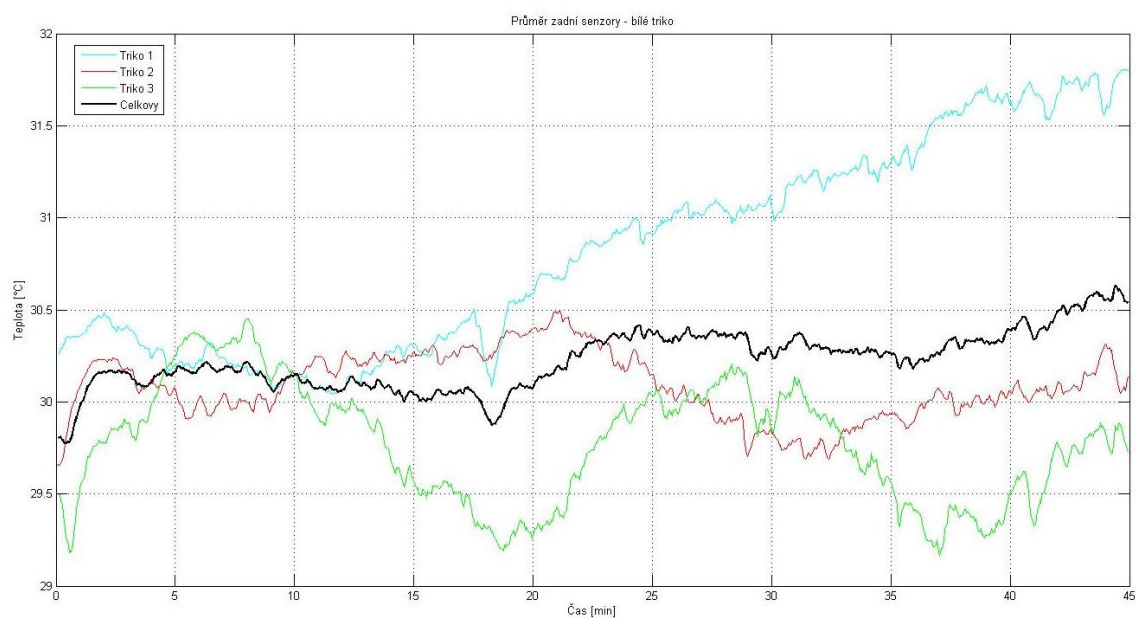
Hodnocení předního dílu			Průměrná teplota [°C]		Vlhkost [%]		Čas [min]	
			Max	Min	Max	Min	Max	Min
Bavlna	Bílé triko	Měření č. 1	31,80	30,04	97,55	78,30	44,74	11,61
		Měření č. 2	30,50	29,66	100,3	67,30	21,10	0,00
		Měření č. 3	30,45	29,16	96,70	62,80	7,99	37,06
	Černé triko	Měření č. 1	32,04	29,76	98,80	69,90	5,05	0,13
		Měření č. 2	32,37	29,61	98,00	62,95	23,12	0,04
		Měření č. 3	32,09	29,96	99,10	47,90	4,79	0,13
	Červené triko	Měření č. 1	30,84	27,68	98,90	44,65	8,46	26,27
		Měření č. 2	32,30	29,18	97,40	46,75	6,04	25,63
		Měření č. 3	30,51	25,91	99,30	53,90	5,22	44,70
Polyester	Bílé triko	Měření č. 1	30,25	28,48	100,40	62,20	0,95	15,88
		Měření č. 2	31,59	30,01	101,60	61,35	3,71	21,83
		Měření č. 3	30,92	29,60	95,35	66,35	1,85	29,29
	Černé triko	Měření č. 1	31,71	28,85	101,00	50,20	3,19	38,70
		Měření č. 2	31,52	29,90	97,45	44,80	5,69	12,80
		Měření č. 3	30,06	28,60	98,90	85,25	30,06	0,13
	Červené triko	Měření č. 1	30,41	27,07	92,35	46,40	5,22	19,03
		Měření č. 2	31,00	28,03	98,50	42,80	9,62	27,23
		Měření č. 3	29,91	27,61	97,40	42,90	6,82	33,26

XI. Grafy z měření teploty a vlhkost pomocí senzorů

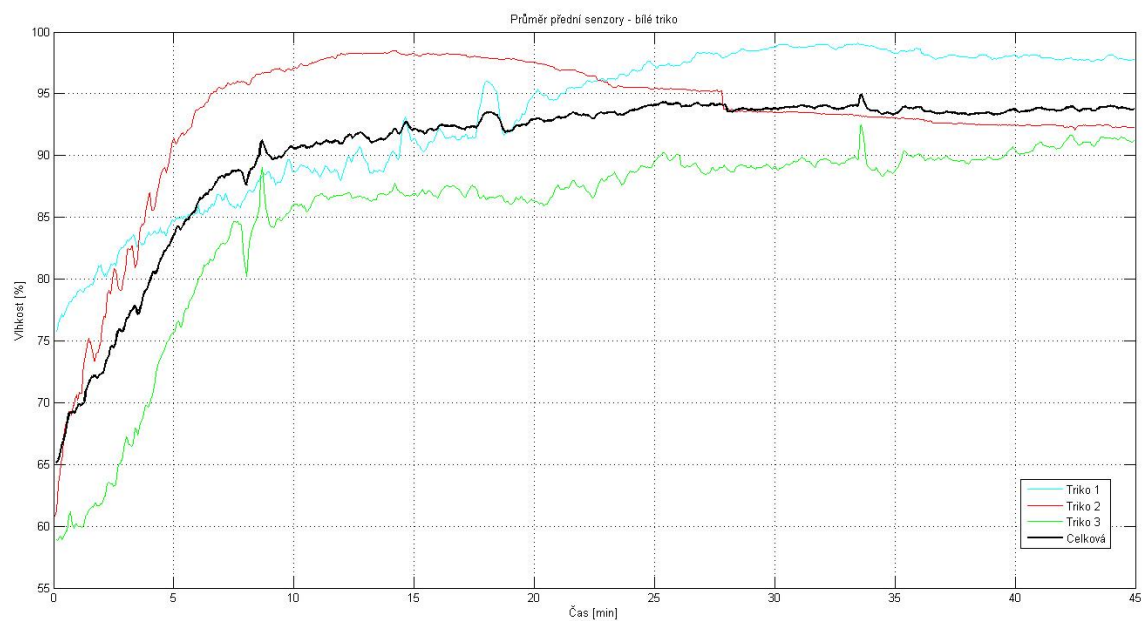
Teplota - bílé triko bavlna přední díl



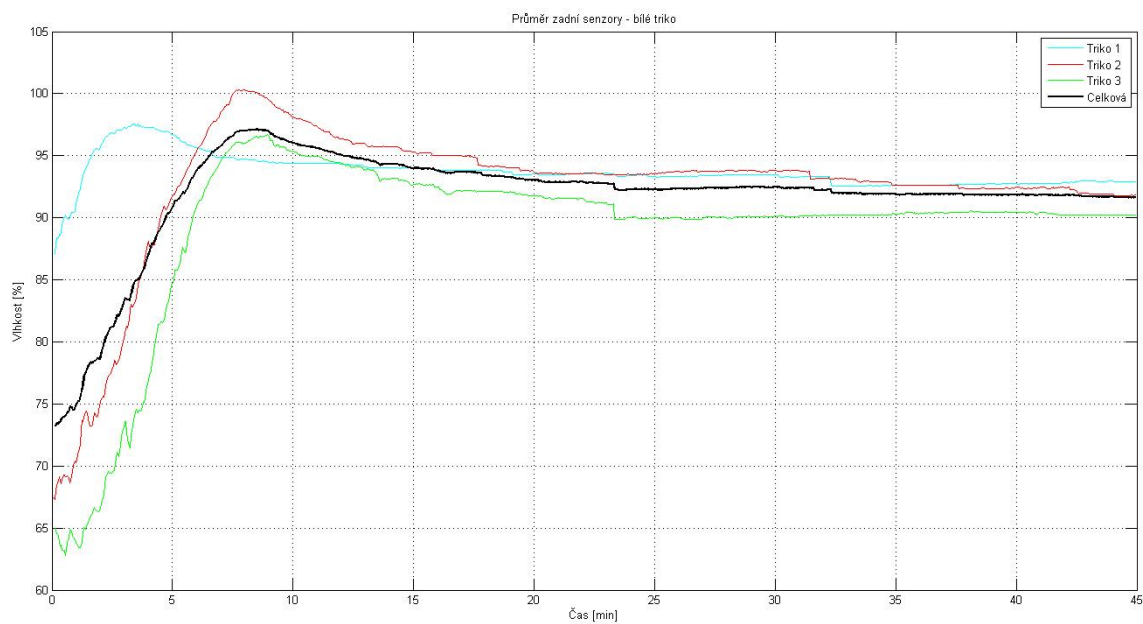
Teplota - bílé triko bavlna zadní díl



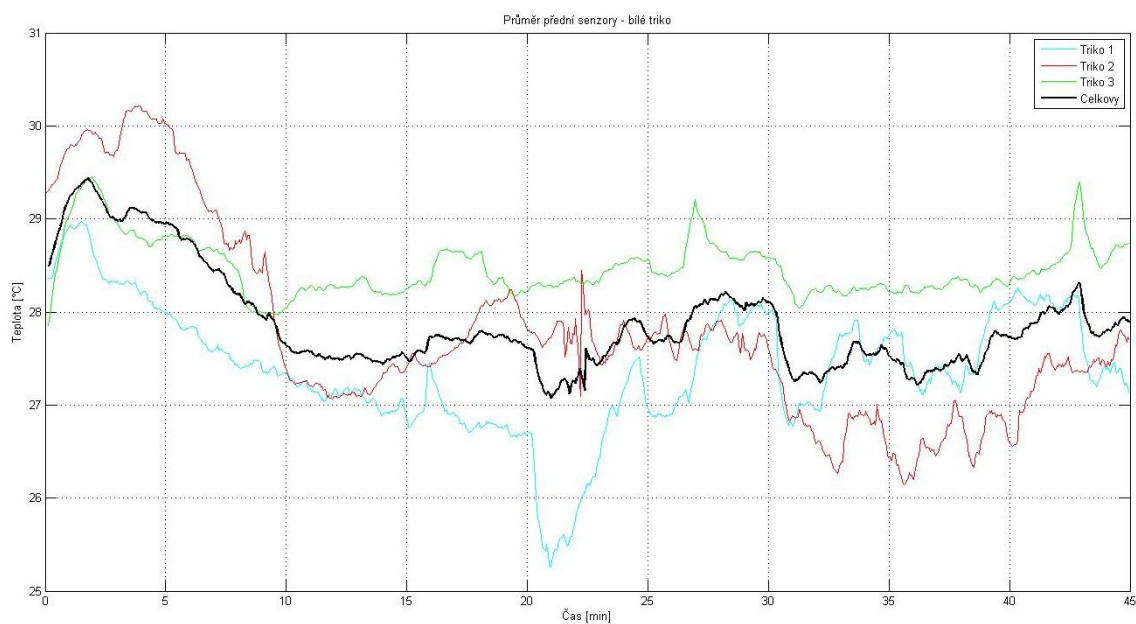
Vlhkost - bílé triko bavlna přední díl



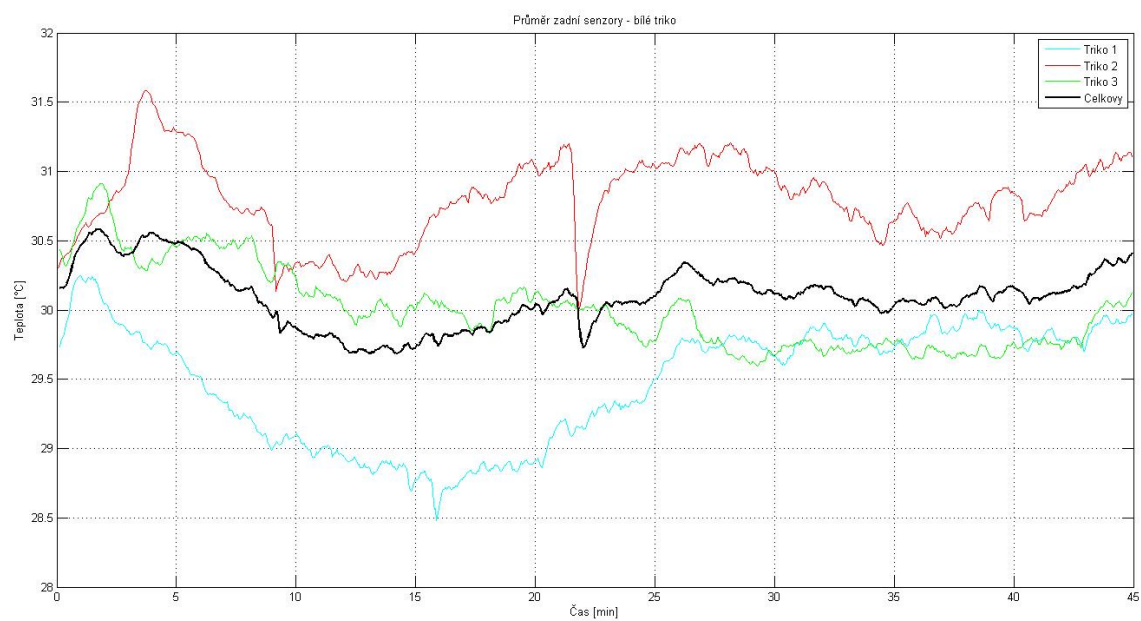
Vlhkost - bílé triko bavlna zadní díl



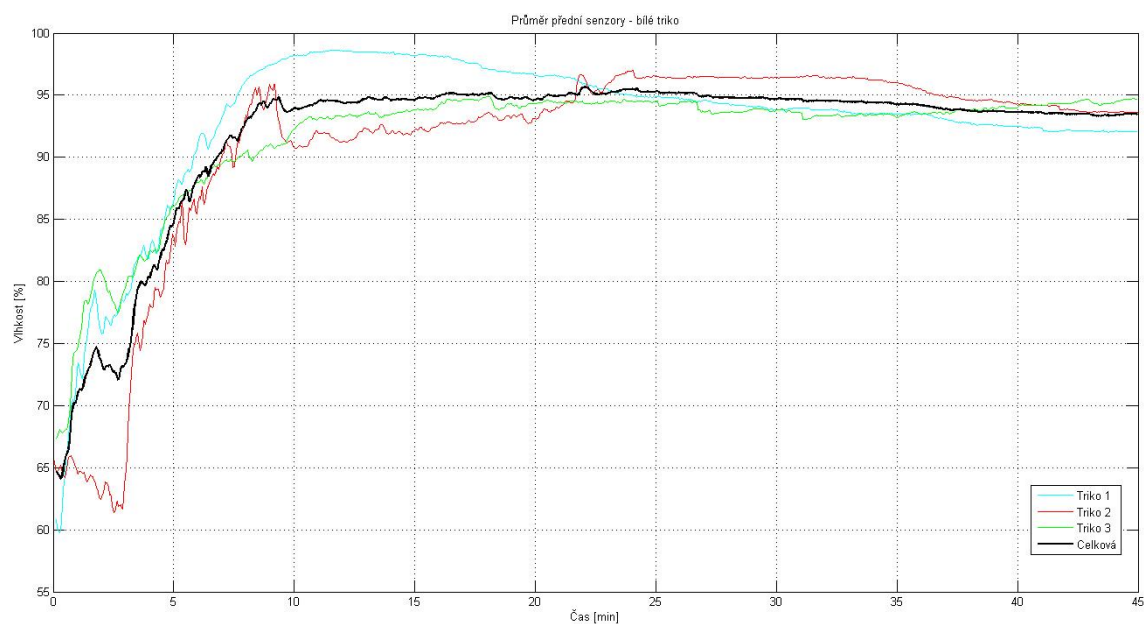
Teplota - bílé triko polyester přední díl



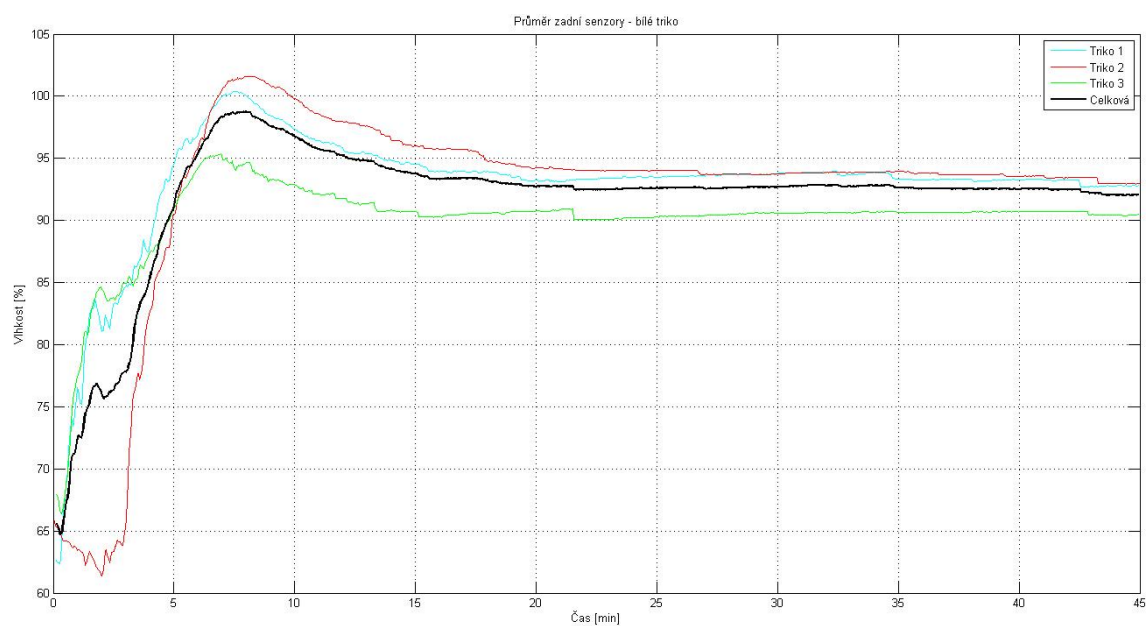
Teplota - bílé triko polyester zadní díl



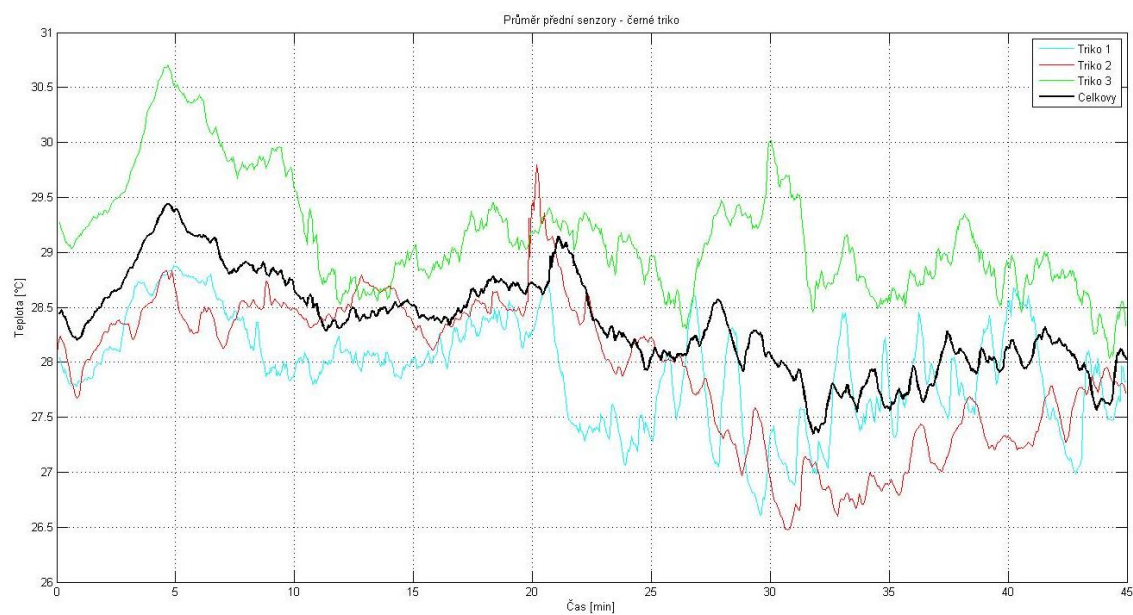
Vlhkost - bílé triko polyester přední díl



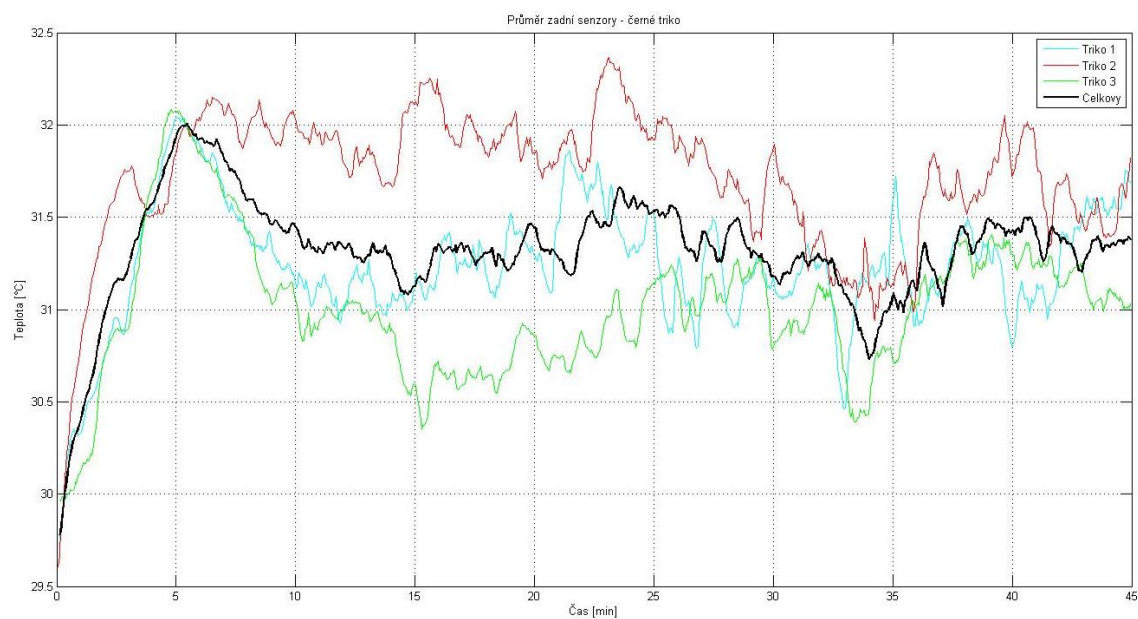
Vlhkost - bílé triko polyester zadní díl



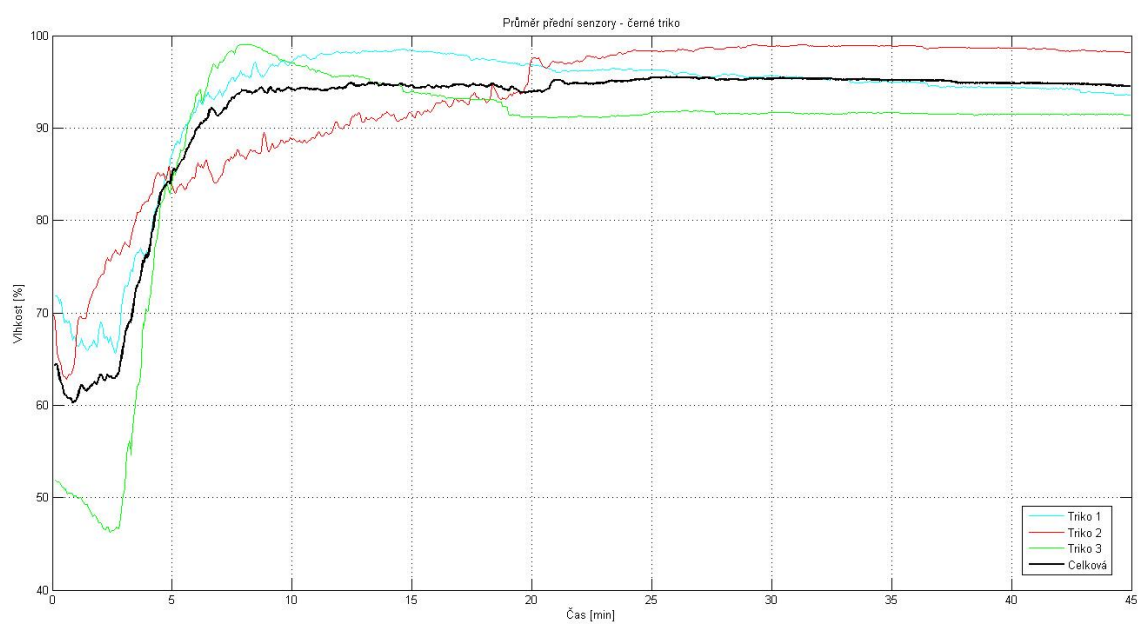
Teplota - černé triko bavlna přední díl



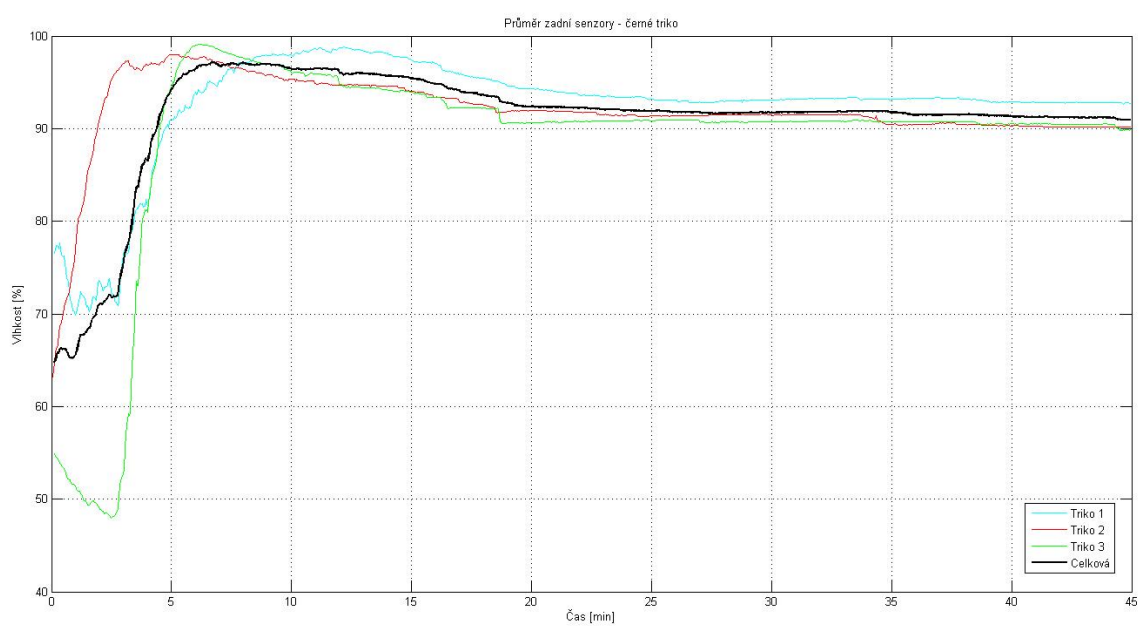
Teplota - černé triko bavlna zadní díl



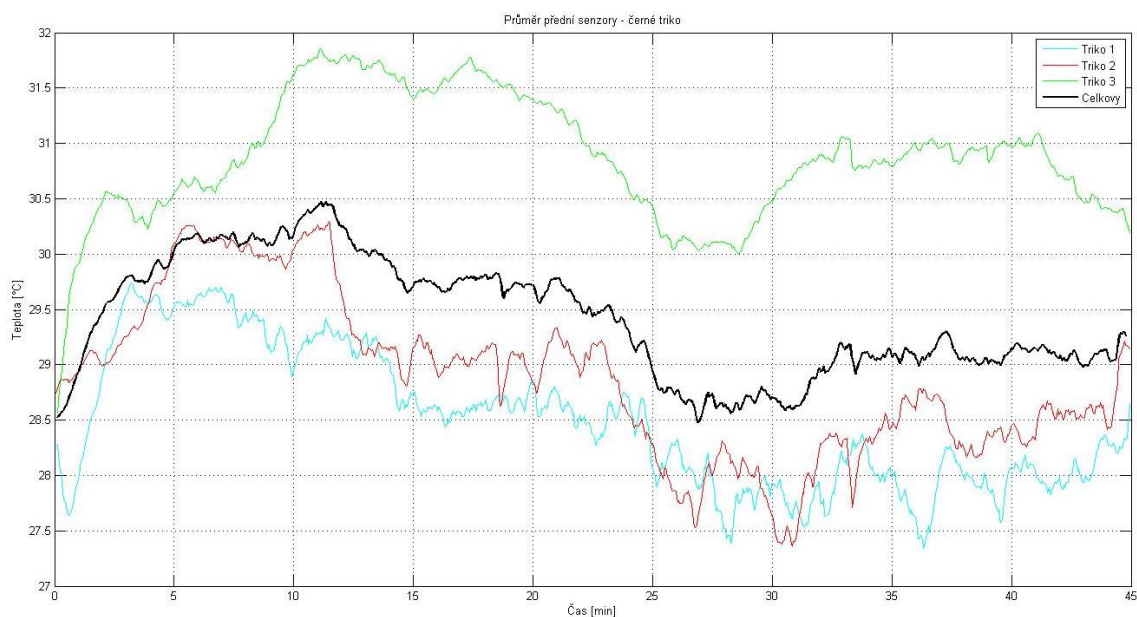
Vlhkost - černé triko bavlna přední díl



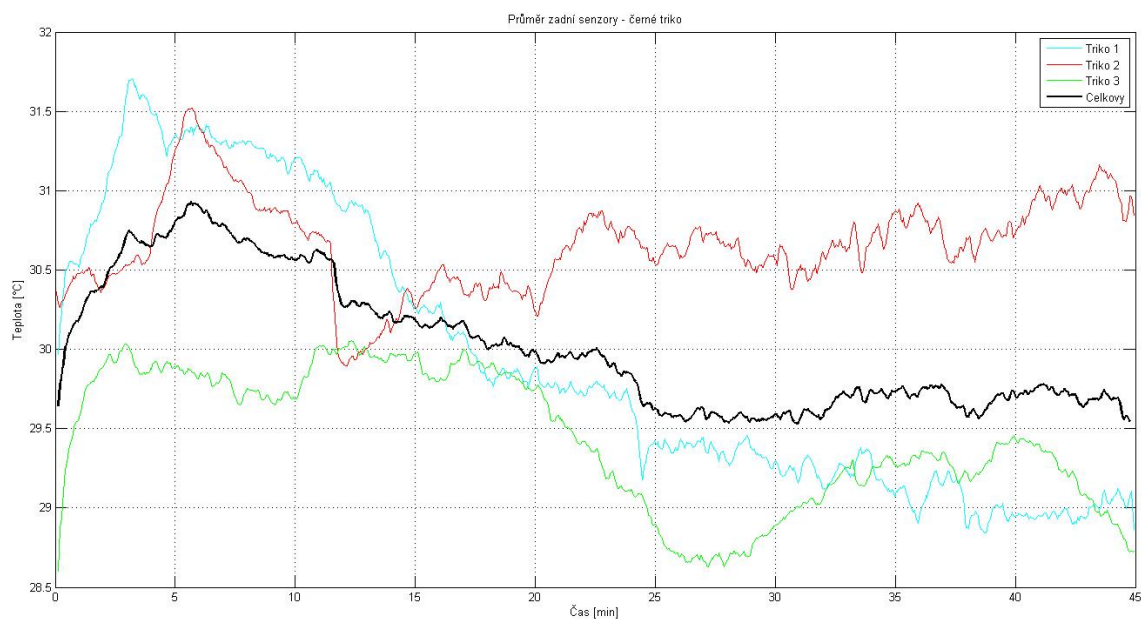
Vlhkost - černé triko bavlna zadní díl



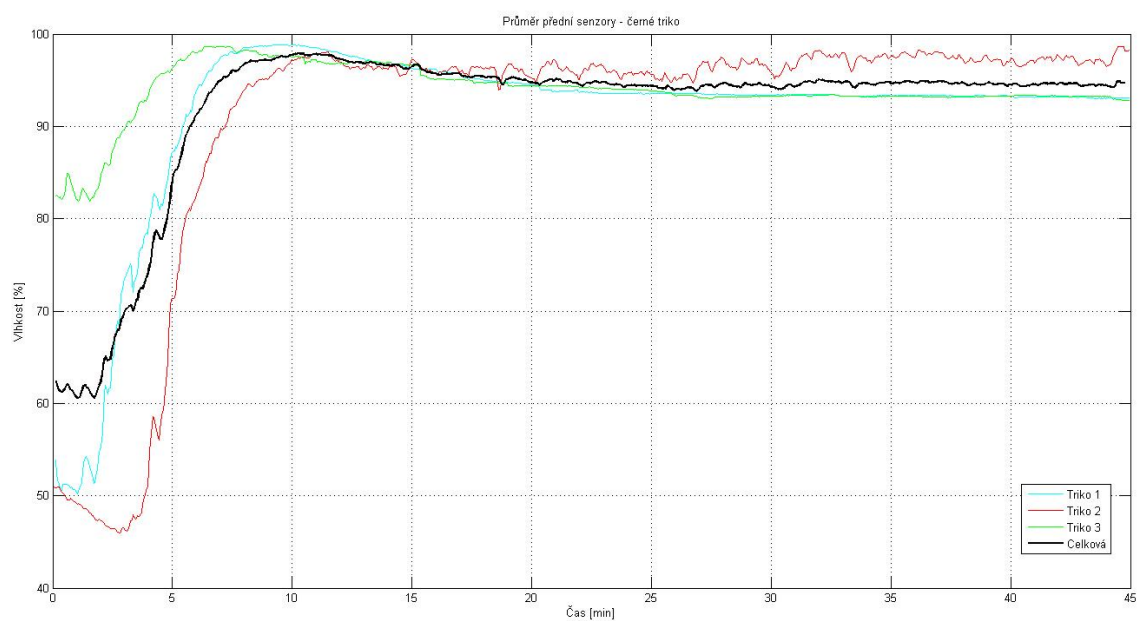
Teplota - černé triko polyester přední díl



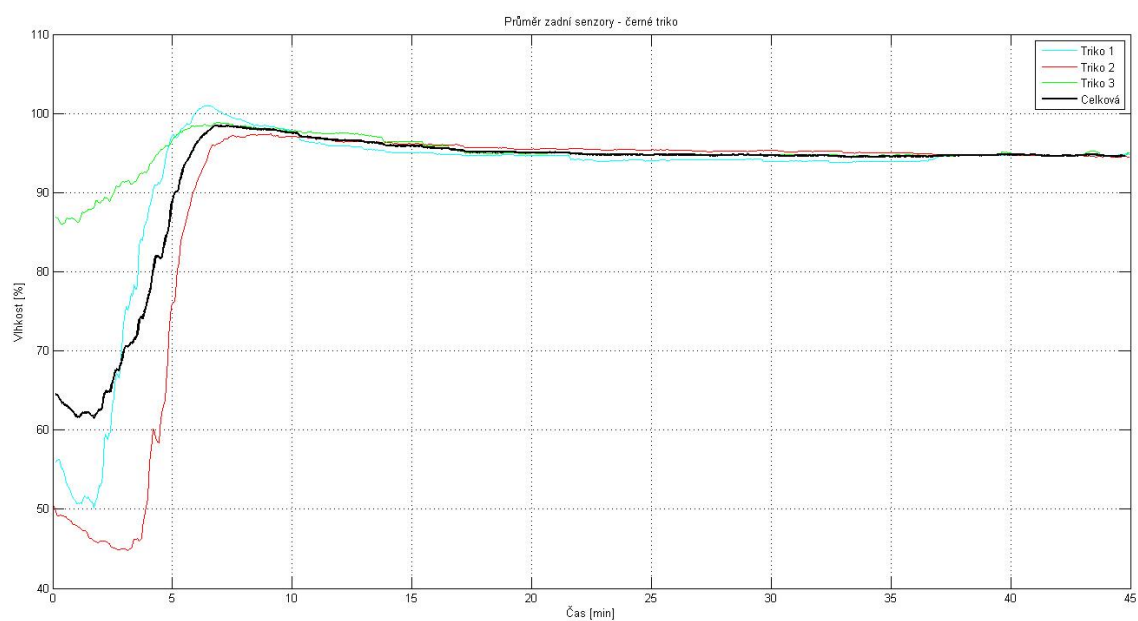
Teplota - černé triko polyester zadní díl



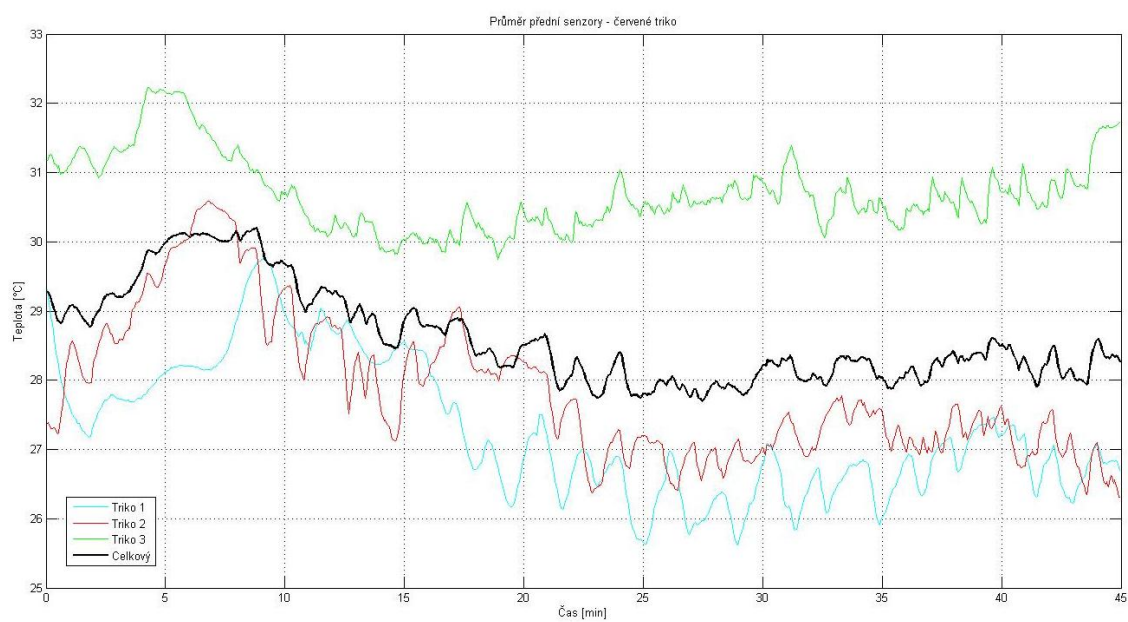
Vlhkost - černé triko polyester přední díl



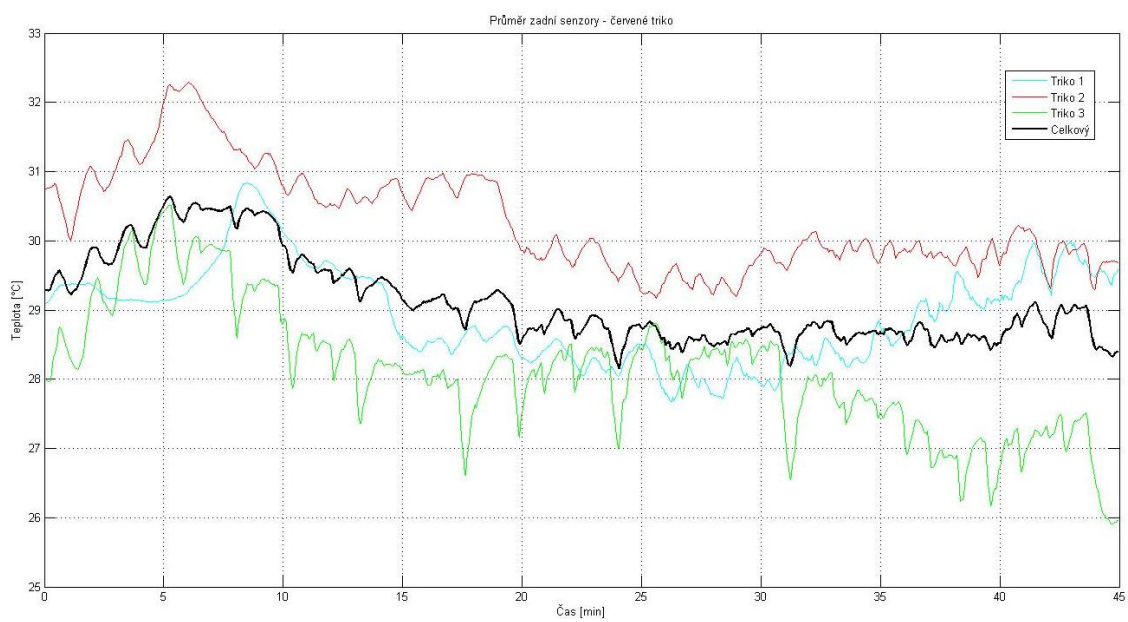
Vlhkost - černé triko polyester zadní díl



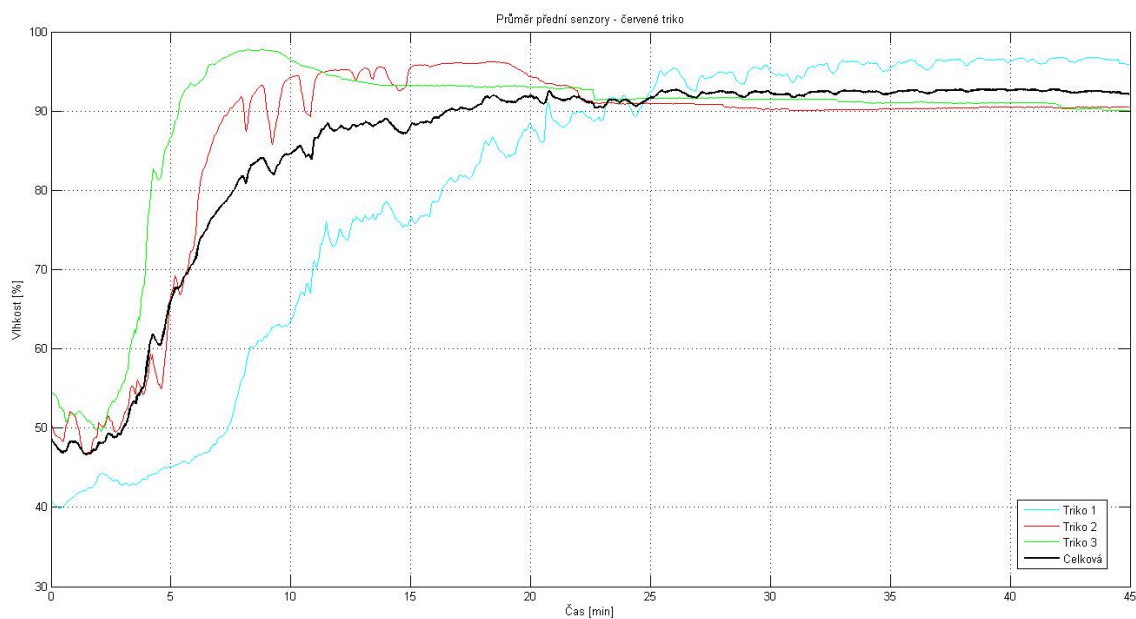
Teplota - červené triko bavlna přední díl



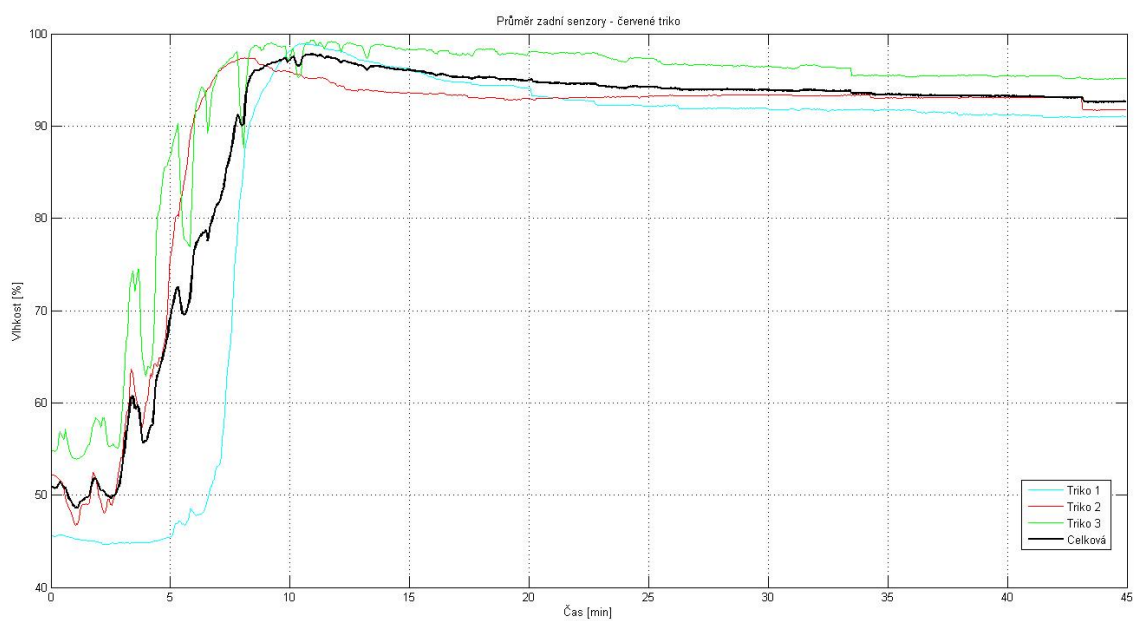
Teplota - červené triko bavlna zadní díl



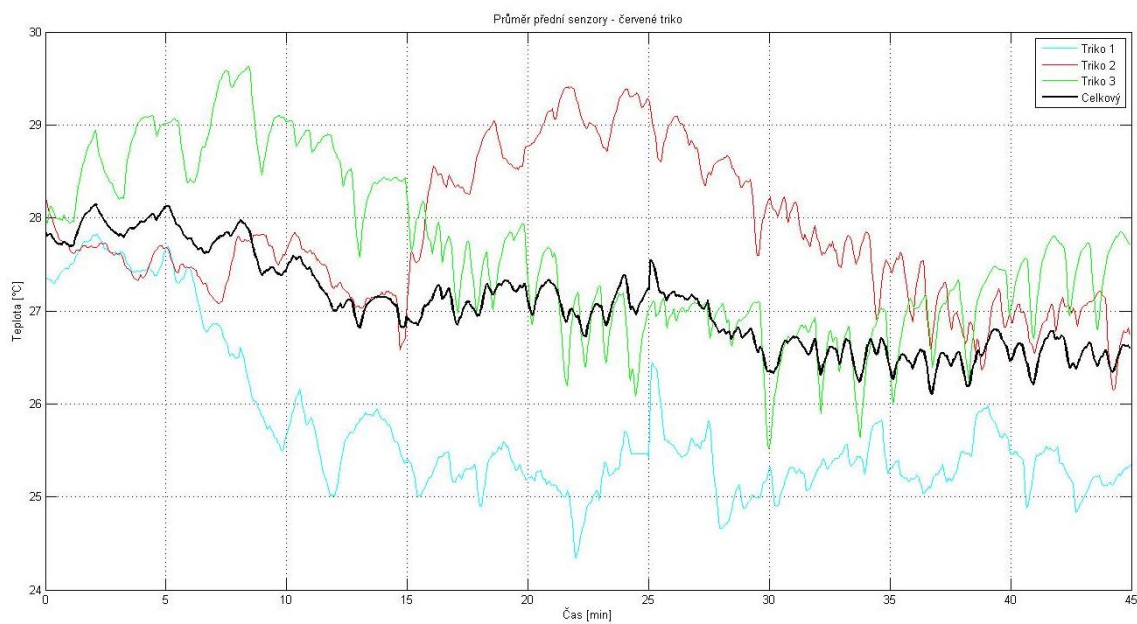
Vlhkost - červené triko bavlna přední díl



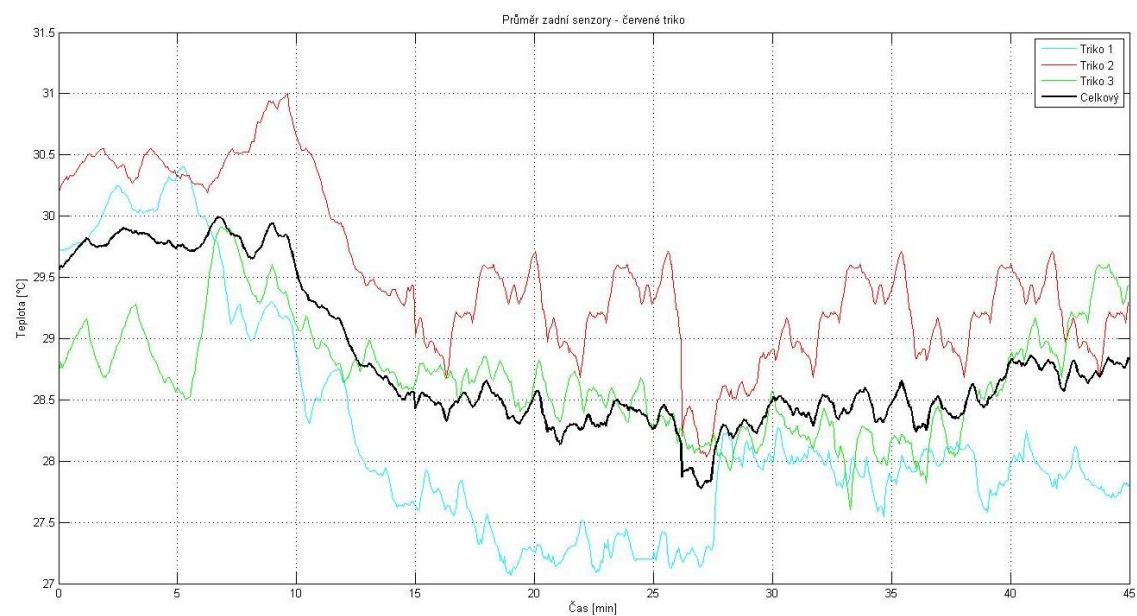
Vlhkost - červené triko bavlna zadní díl



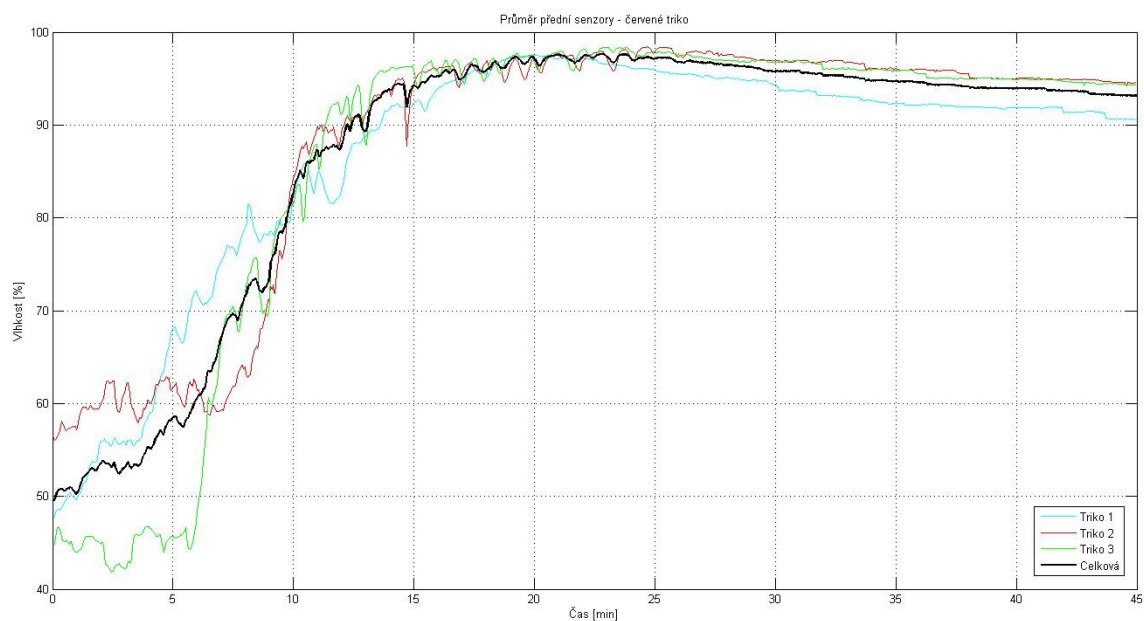
Teplota - červené triko polyester přední díl



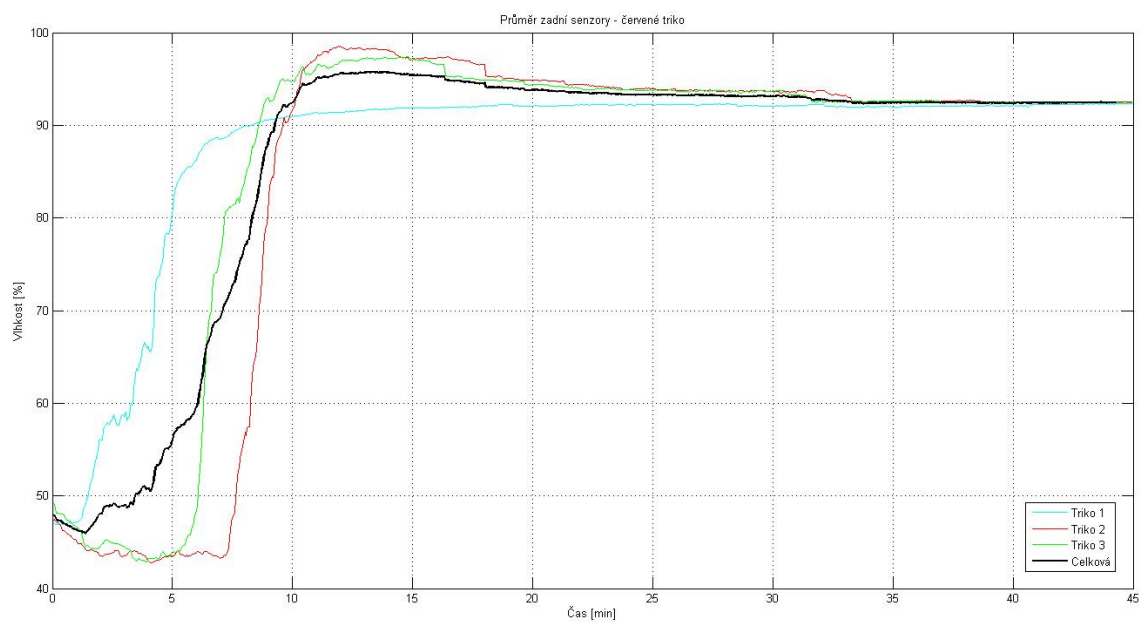
Teplota - červené triko polyester zadní díl



Vlhkost - červené triko polyester přední díl



Vlhkost - červené triko polyester zadní díl

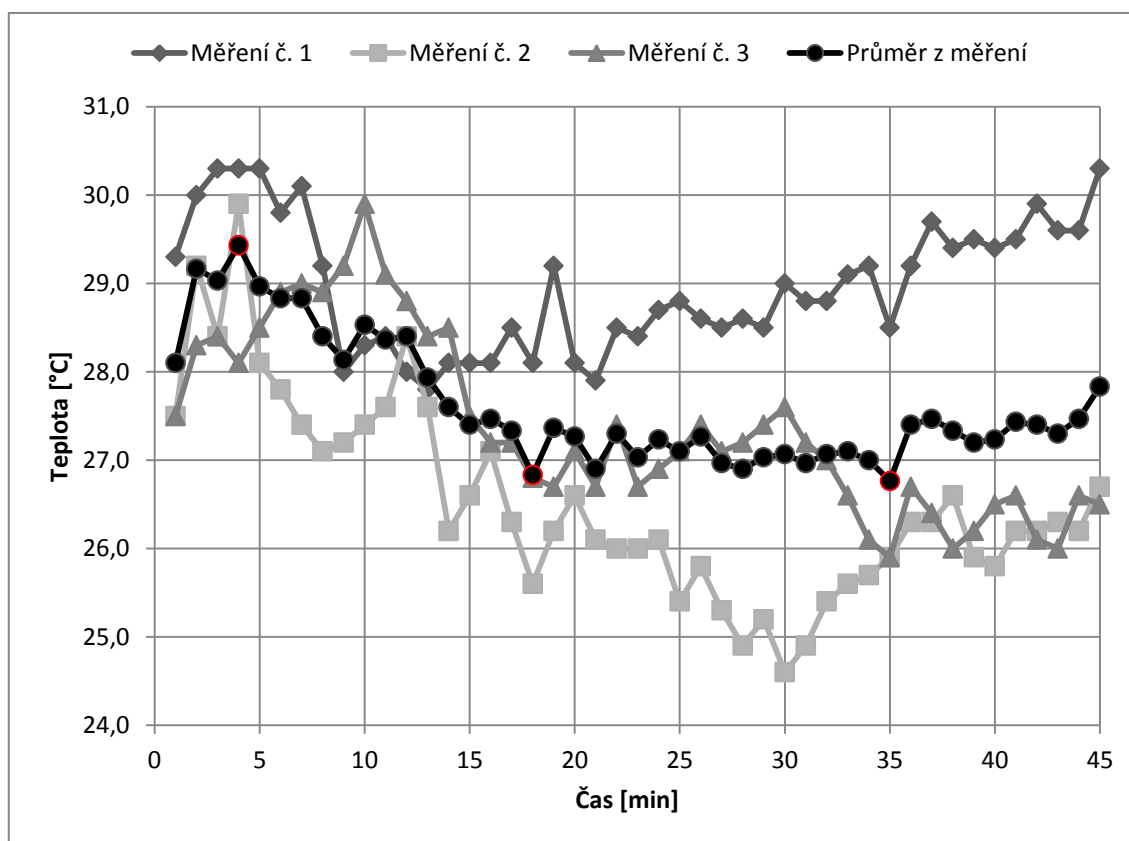


XII. Tabulky s údaji získaných pomocí měření termovizní kamery

Údaje o teplotě získané pomocí termovizní kamery – bavlněné bílé triko

Bílé bavlněné triko měření č. 1		Bílé bavlněné triko měření č. 2		Bílé bavlněné triko měření č. 3	
Minimum	27,1°C	Minimum	23,5°C	Minimum	24,9°C
Čas minima	21 min	Čas minima	31 min	Čas minima	35 min
Maximum	31,4°C	Maximum	30,5°C	Maximum	31,3°C
Čas maxima	5 min	Čas maxima	2 min	Čas maxima	2 min
Rozdíl (maxima, minima)	4,3°C	Rozdíl (maxima, minima)	7°C	Rozdíl (maxima, minima)	6,4°C
Průměr měření	29,33°C	Průměr měření	26,54°C	Průměr měření	27,76°C

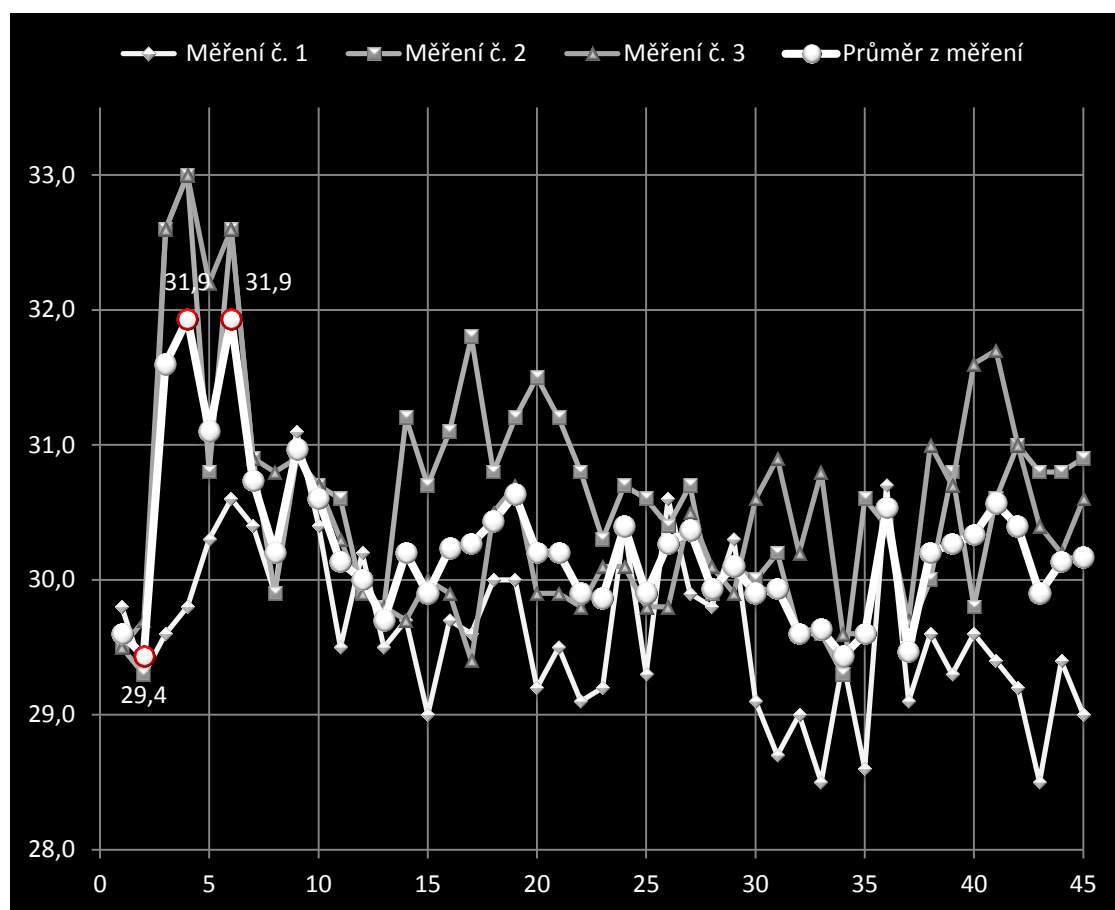
Průměrné hodnoty teploty v čase - bílé bavlněné triko



Údaje o teplotě získané pomocí termovizní kamery – bavlněné černé triko

Černé bavlněné triko měření č. 1		Černé bavlněné triko měření č. 2		Černé bavlněné triko měření č. 3	
Minimum	24,9°C	Minimum	26,1°C	Minimum	26,0°C
Čas minima	43 min	Čas minima	40 min	Čas minima	25 min
Maximum	33,5°C	Maximum	34,6°C	Maximum	34,6°C
Čas maxima	9 min	Čas maxima	4 min	Čas maxima	4 min
Rozdíl (maxima, minima)	8,6°C	Rozdíl (maxima, minima)	8,5°C	Rozdíl (maxima, minima)	8,6°C
Průměr měření	29,95°C	Průměr měření	30,93°C	Průměr měření	30,81°C

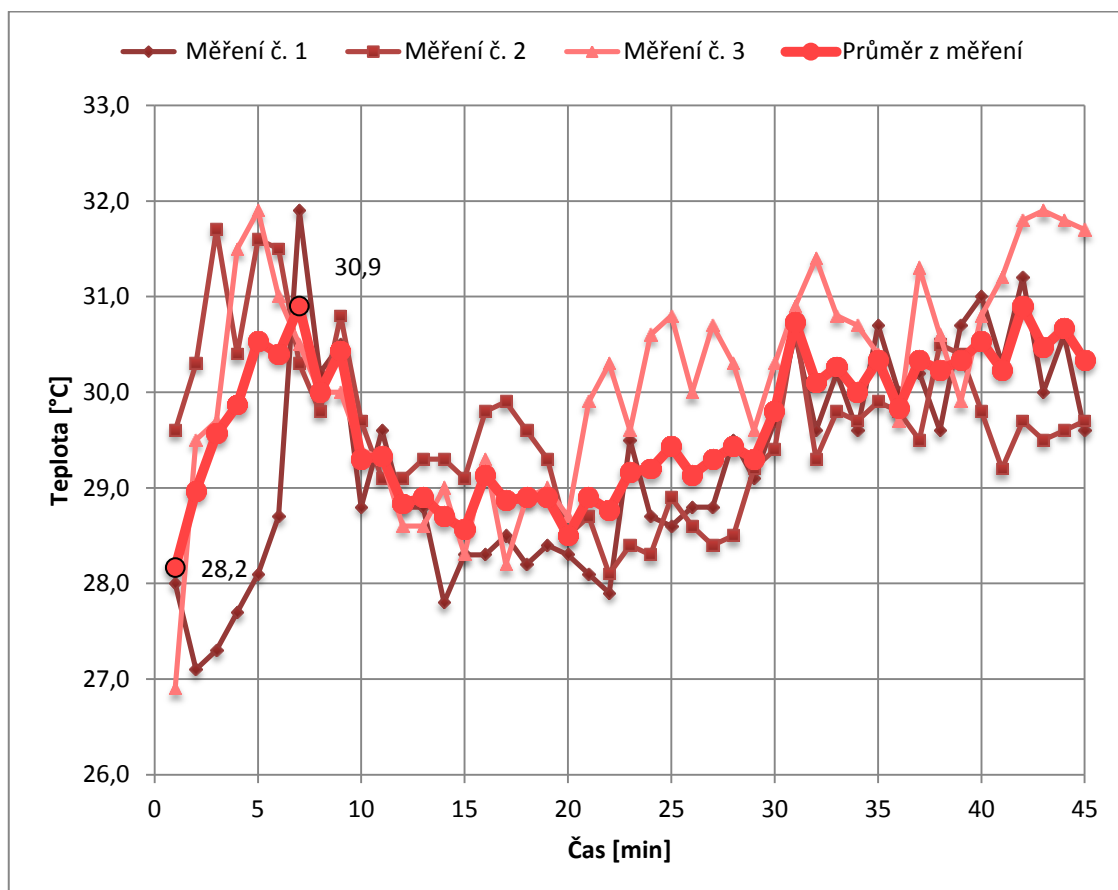
Průměrné hodnoty teploty v čase - černé bavlněné triko



Údaje o teplotě získané pomocí termovizní kamery – bavlněné červené triko

Červené bavlněné triko měření č. 1		Červené bavlněné triko měření č. 2		Červené bavlněné triko měření č. 3	
Minimum	25,50°C	Minimum	26,60°C	Minimum	25,10°C
Čas minima	19 min	Čas minima	22 min	Čas minima	1 min
Maximum	33,00°C	Maximum	33,60°C	Maximum	33,40°C
Čas maxima	7 min	Čas maxima	3 min	Čas maxima	44 min
Rozdíl (maxima, minima)	7,50°C	Rozdíl (maxima, minima)	7,00°C	Rozdíl (maxima, minima)	8,3°C
Průměr měření	29,58°C	Průměr měření	29,94°C	Průměr měření	30,44°C

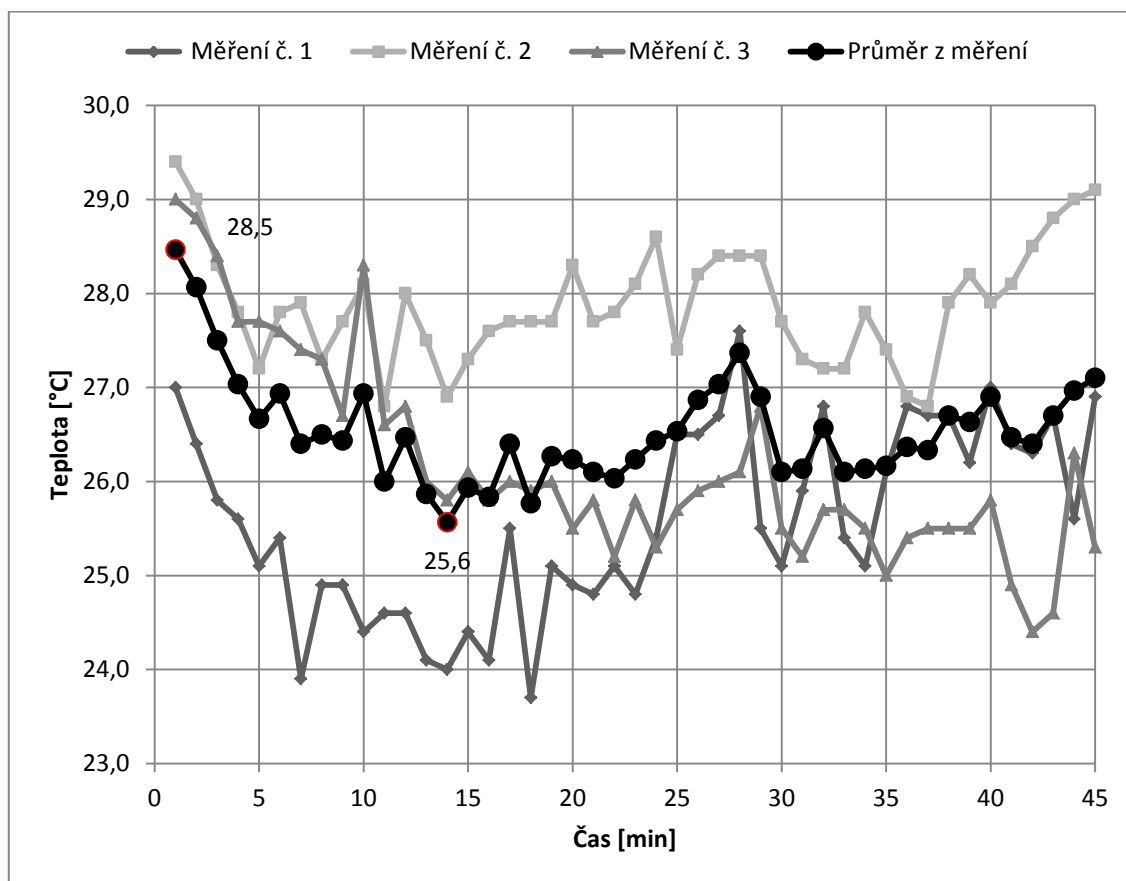
Průměrné hodnoty teploty v čase - červené bavlněné triko



Údaje o teplotě získané pomocí termovizní kamery – polyesterové bílé triko

Bílé polyesterové triko měření č. 1		Bílé polyesterové triko měření č. 2		Bílé polyesterové triko měření č. 3	
Minimum	20,9°C	Minimum	24,6°C	Minimum	22,9°C
Čas minima	18 min	Čas minima	37 min	Čas minima	43 min
Maximum	28,9°C	Maximum	30,8°C	Maximum	30,7°C
Čas maxima	2 min	Čas maxima	2 min	Čas maxima	1 min
Rozdíl (maxima, minima)	8°C	Rozdíl (maxima, minima)	6,2°C	Rozdíl (maxima, minima)	7,8°C
Průměr měření	26,0°C	Průměr měření	28,26°C	Průměr měření	26,58°C

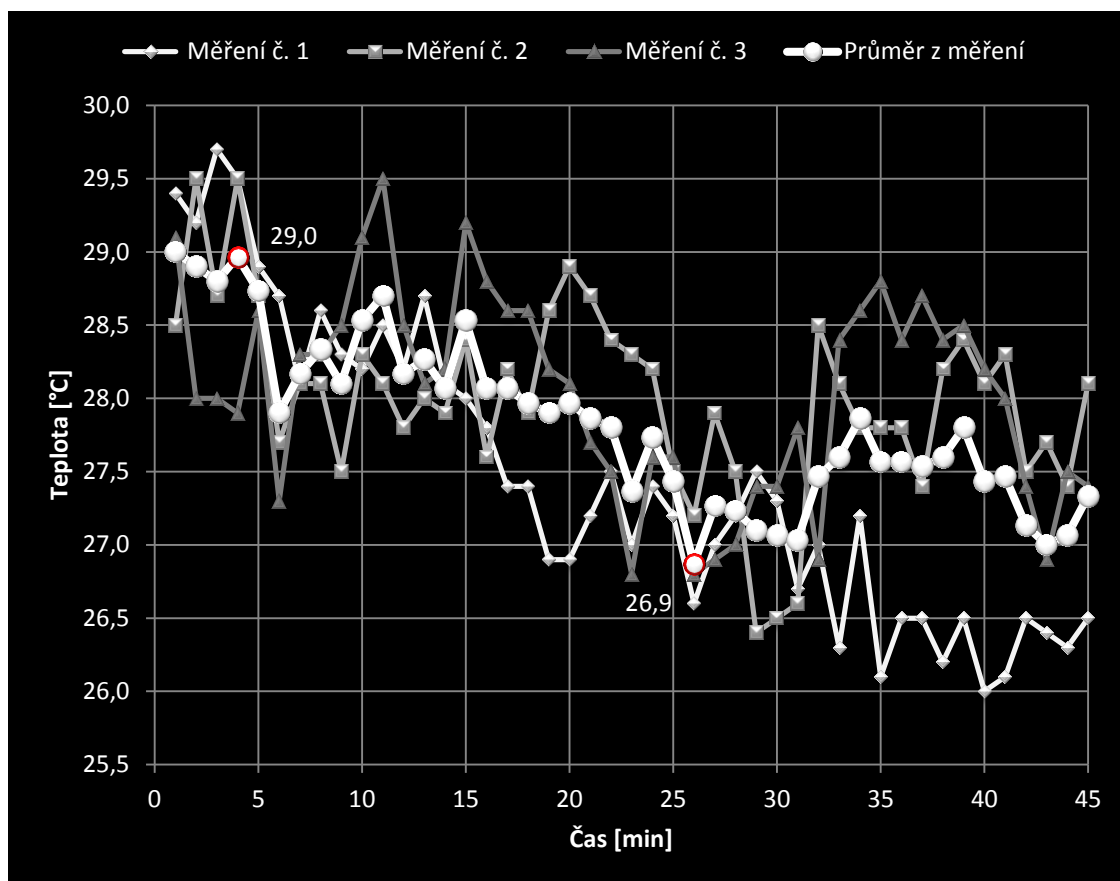
Průměrné hodnoty teploty v čase - bílé polyesterové triko



Údaje o teplotě získané pomocí termovizní kamery – polyesterové černé triko

Černé polyesterové triko měření č. 1		Černé polyesterové triko měření č. 2		Černé polyesterové triko měření č. 3	
Minimum	22,9°C	Minimum	22,9°C	Minimum	24,1°C
Čas minima	40 min	Čas minima	29 min	Čas minima	26 min
Maximum	32,4°C	Maximum	32,8°C	Maximum	33,1°C
Čas maxima	2 min	Čas maxima	2 min	Čas maxima	1 min
Rozdíl (maxima, minima)	9,5°C	Rozdíl (maxima, minima)	9,9°C	Rozdíl (maxima, minima)	9°C
Průměr měření	27,83°C	Průměr měření	28,38°C	Průměr měření	28,40°C

Průměrné hodnoty teploty v čase - černé polyesterové triko



Údaje o teplotě získané pomocí termovizní kamery – polyesterové červené triko

Červené polyesterové triko měření č. 1		Červené polyesterové triko měření č. 2		Červené polyesterové triko měření č. 3	
Minimum	22,0°C	Minimum	22,2°C	Minimum	25,1°C
Čas minima	15 min	Čas minima	23 min	Čas minima	1 min
Maximum	30,7°C	Maximum	31,4°C	Maximum	31,1°C
Čas maxima	34 min	Čas maxima	2 min	Čas maxima	43 min
Rozdíl (maxima, minima)	7,8°C	Rozdíl (maxima, minima)	9,2°C	Rozdíl (maxima, minima)	6,0°C
Průměr měření	27,83°C	Průměr měření	26,64°C	Průměr měření	27,86°C

Průměrné hodnoty teploty v čase - červené polyesterové triko

